

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA – POSMEC**

MARCELO RAEDER

PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O PROJETO PARA MANUFATURA ENXUTA

FLORIANÓPOLIS

2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O PROJETO PARA MANUFATURA ENXUTA

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para a obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

MARCELO RAEDER

Florianópolis, Março de 2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

PROPOSTA DE DIRETRIZES PARA O PROJETO PARA MANUFATURA ENXUTA

MARCELO RAEDER

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA

sendo aprovada em sua forma final.

Prof. Fernando A. Forcellini, Dr. Eng. (Orientador)

Prof. Eduardo Alberto Fancello, Dr. Sc

BANCA EXAMINADORA

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D. (Presidente)

Prof. João Carlos E. Ferreira, Ph. D.

Prof. Osmar Possamai, Dr. (EPS / UFSC)

Dedico esta vitória a Deus, por sempre ter me acompanhado nesta empreitada; a minha companheira, Sibeles, pela compreensão durante os intermináveis momentos de minha ausência; a meus pais Roberto, Rosemarie e minha irmã, Monica, pela dedicação e apoio na minha formação pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

Pela realização desta dissertação agradeço, primeiramente, ao Prof. Dr. Fernando Antônio Forcellini, orientador e singular motivador.

À UFSC / POSMEC, por propiciar tal oportunidade.

À Maria Goreti Alves, secretária do POSMEC, por toda a ajuda, disponibilidade e orientação.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

A implementação da Manufatura Enxuta tem tido uma importante participação na busca pelo aumento de eficiência e produtividade de indústrias que enfrentam uma competição de mercado acirrada, como a automotiva. A Manufatura Enxuta encontra seus principais alicerces nas boas práticas desenvolvidas pelas indústrias automotivas japonesas no final da segunda grande guerra, na busca por alta qualidade, baixos custos de transformação, menores *lead times* e maior flexibilidade. Devido à alta competitividade em diversos setores industriais, particularmente no automotivo, existe um grande esforço pela aplicação da Manufatura Enxuta em níveis cada vez mais profundos. É de fácil verificação que o processo de desenvolvimento de produtos tem forte impacto na eficácia e amplitude de sua aplicação. Por outro lado, verifica-se a falta de elementos para o desenvolvimento de produtos que contribuam com a implantação da abordagem enxuta, buscando eliminar desperdícios na etapa de manufatura a partir das fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos. A preocupação em desenvolver produtos que maximizem características específicas, através da utilização da Engenharia Simultânea, fez surgir o Projeto para Manufatura (DFM). Até o momento, nenhuma ferramenta conseguiu oferecer subsídios suficientes para equipes de desenvolvimento, em sua tarefa de desenvolver produtos que venham a contribuir com a implantação da Manufatura Enxuta em sua totalidade. Da mesma forma, a Engenharia Simultânea não tem sido utilizada de maneira apropriada na busca pelo envolvimento da equipe de desenvolvimento com a Manufatura Enxuta. O presente estudo busca desenvolver e sugerir, na forma de diretrizes para o *Design for Lean Manufacturing* (DFLM), uma sistematização das melhores práticas para o desenvolvimento de produtos com foco na implantação da Manufatura Enxuta. Estas diretrizes foram reunidas levando-se em consideração a identificação de requisitos pertinentes à implementação da Manufatura Enxuta, durante o processo de projeto. As diretrizes propostas foram aplicadas num estudo de caso junto a uma empresa do setor automobilístico, e os resultados mostraram a relativa facilidade de aplicação das mesmas e também ganhos significativos em termos da redução do *lead time* do processo produtivo.

Palavras-chave: *Design for Lean Manufacturing*. DFX. *Lean*.

ABSTRACT

Lean Manufacturing approach implementation has had an important participation in productivity improvement in first-rate industries. This approach came from the gathering of the best practices used by the Japanese automotive industries as of the end of the Second World War targeting simultaneously high quality, low costs, lower lead time and enhanced flexibility. Due to high competitiveness in first rate industries, mainly automotive, there is a great effort in applying Lean Manufacturing approach in deeper levels. It is not difficult to verify, that product concept has had an important role on its efficacy, and while on the other hand, one can verify a lack of elements for a proper development of products with focus on Lean Manufacturing approach. Concern to design products that maximize specific characteristics through utilization of Simultaneous Engineering gave birth to DFX tools such as Manufacture (DFM). To this date, no DFX tool has offered enough subsidies to the design team in its task of generating products that will contribute with the implementation of Lean Manufacturing in its entirety, also has Simultaneous Engineering not been properly utilized in the job of involving the Product Design team with Lean Manufacturing approach. The present study seeks to bring forward, in the form of a set of guidelines called Design for Lean Manufacturing (DFLM), the systematization of the best supporting practices for the development of products with focus on the implementation of Lean Manufacturing through Simultaneous Engineering. These guidelines have been put together considering the identification of product requisites pertinent with the implementation of Lean Manufacturing. The proposed systematization focuses conceptual design and detailed design phases of Product Development Process. Proposed guidelines were applied in a case study placed in an automotive facility sector and results indicated they were relatively easy to use as well as significant gains regarding productive process lead time were achieved.

Key-words: Design for Lean Manufacturing, DFX, Lean.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - VISÃO SISTÊMICA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO TOYOTA	15
FIGURA 2 - VISÃO MACRO DO FLUXO DE TRABALHO ADOTADO.....	20
FIGURA 3 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL.....	41
FIGURA 4 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO	41
FIGURA 5 - MODELO DE PDP	47
FIGURA 6 - MODELO PDP PARA O DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS COMPLEXOS	48
FIGURA 7 - MODELO PDP	49
FIGURA 8 - SOBREPOSIÇÃO DE ATIVIDADES NO PDP	52
FIGURA 9 - DESPERDÍCIOS DECORRENTES DE PROJETO QUE VISA REDUÇÃO DE CUSTOS DE MATERIAL	54
FIGURA 10 -MODELO DE PDP ENXUTO E SEUS 13 PRINCÍPIOS.....	59
FIGURA 11 -ESTÁGIOS DO DFMA	76
FIGURA 12 -ALICATE EM MOLDE ÚNICO.....	80
FIGURA 13 -EXEMPLOS DE PRODUTOS QUE BENEFICIAM A MANUFATURA ENXUTA.....	82
FIGURA 14 -TRANSFERÊNCIA DE DEFEITOS ENTRE ETAPAS EM PROCESSOS PDP	85
FIGURA 15 -TEMPOS REAL E PADRÃO DOS POSTOS DE MONTAGEM COMPREENDIDOS PELA ETAPA DE PROCESSO ESCOLHIDA	106
FIGURA 16 -MONTAGEM DO CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS DA BASE CONSOLE CENTRAL DO VEÍCULO ANTES DA MODIFICAÇÃO – MODELO 4X2	110
FIGURA 17 -DIFERENÇAS ENTRE AS CHAPAS ISOLADORAS 2 E 3, MODELOS 4X2 E 4X4	112
FIGURA 18 -CHAPAS ISOLADORAS 2 E 3 UNIFICADAS PARA OS MODELOS 4X2 E 4X4	112

FIGURA 19 -CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS UNIFICADO, MONTADO EM UM CONSOLE DE VEÍCULO 4X4	113
FIGURA 20 -UNIFICAÇÃO DAS CHAPAS ISOLADORAS – MODELO 4X4.....	114
FIGURA 21 -MONTAGEM DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS.....	117
FIGURA 22 -MELHORIA DO SISTEMA DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS.....	118
FIGURA 23 -DEFEITO DECORRENTE DE DIFICULDADE DE ENCAIXE DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS NO CONSOLE CENTRAL	119
FIGURA 24 -BARRA TUBULAR E OS COMPONENTES AFETADOS PELO SEU POSICIONAMENTO	120
FIGURA 25 -PONTOS DE FIXAÇÃO DA BARRA TUBULAR	121
FIGURA 26 -PONTOS DA CARROCERIA ONDE A BARRA É FIXADA	121

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 -	PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE PDP E PRODUÇÃO.....	64
QUADRO 2 -	DIFERENTES APLICAÇÕES DOS PRINCÍPIOS ENXUTOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS.....	73
QUADRO 3 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – NECESSIDADES E SUGESTÕES SOB O PONTO DE VISTA DOS RESPONDENTES	96
QUADRO 4 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE USINAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS	97
QUADRO 5 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE ESTAMPAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS	98
QUADRO 6 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE SOLDA POR ARCO E DESPERDÍCIOS EVITADOS	98
QUADRO 7 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE SOLDA A PONTO E DESPERDÍCIOS EVITADOS	99
QUADRO 8 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE MONTAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS	99
QUADRO 9 -	RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DIVERSOS (LEVANTADOS PELO AUTOR) E DESPERDÍCIOS EVITADOS.....	100
QUADRO 10 -	DESEJOS E SUGESTÕES NA OPINIÃO DOS RESPONDENTES CONVERTIDOS EM DIRETRIZES.....	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO - PROCESSO DE USINAGEM	89
TABELA 2 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO - PROCESSO DE ESTAMPAGEM	90
TABELA 3 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – SOLDAGEM POR ARCO	91
TABELA 4 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – SOLDAGEM A PONTO	92
TABELA 5 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – MONTAGEM.....	93
TABELA 6 -	RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – PROCESSOS DIVERSOS.....	95
TABELA 7 -	RELAÇÃO DE OPERAÇÕES E TEMPOS REAIS E PADRÕES – POSTO 1	107
TABELA 8 -	RELAÇÃO DE OPERAÇÕES E TEMPOS REAIS E PADRÕES – POSTO 5	108
TABELA 9 -	OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA VERIFICAÇÃO - POSTO 1	109
TABELA 10 -	TEMPO DE MONTAGEM REAL APÓS APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DFL	116
TABELA 11 -	OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA VERIFICAÇÃO - POSTO 5	116
TABELA 12 -	TEMPO DE MONTAGEM REAL APÓS APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DFLM	123

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDI - Boothroyd Dewhurst, Inc
CAD - Computer-Aided Design
DFA - Design For Assembly
DFM - Design For Manufacturability
DFLM - Design For Lean Manufacturability
DFMA - Design for Manufacturing and Assembly
DFX - Design For X
DoD - USA Department of Defense
IPPD - Integrated Product and Process Development
JIT - Just in Time
MTM – Methods Time Measurement
PDP - Processo de Desenvolvimento de Produtos
QFD - Função Desdobramento da Qualidade
TPM - Manutenção Produtiva Total
TPS - Toyota Production System
TQM - Gerenciamento Total da Qualidade
VSA - Análise do Fluxo de Valor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DA PESQUISA	17
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO.....	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.4 FLUXO DE TRABALHO	19
1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA ADOTADA	21
1.5.1 Caracterização da Pesquisa	21
1.5.2 Ambiente da Pesquisa	24
1.5.3 Restrições do Estudo.....	24
1.6 METODOLOGIA ADOTADA PARA O LEVANTAMENTO DAS DIRETRIZES	25
1.6.1 Ambiente de Aplicação do Questionário.....	26
1.6.2 Perfil dos Respondentes	27
1.6.3 Número de Respondentes	27
1.6.4 Limitações do Processo de Levantamento de Diretrizes	28
1.7 METODOLOGIA ADOTADA PARA VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES	28
2 EMBASAMENTO TEÓRICO E ESTADO DA ARTE	30
2.1 MANUFATURA ENXUTA	30
2.1.1 Diferenças entre o Sistema de Produção Artesanal, em Massa e Enxuto	32
2.1.2 Princípios do Sistema de Produção Enxuto	33
2.1.3 O Valor e a Abordagem Enxuta.....	38
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS	43
2.2.1 Escolha de um Modelo PDP de Referência.....	45
2.2.2 Criação de Valor a Partir do PDP	52
2.2.3 Desenvolvimentos que Geram Desperdícios.....	54
2.2.4 Novas Fronteiras do Desenvolvimento de Produtos	55
2.2.5 Desperdícios Ocorridos Durante o PDP	64
2.3 DFX	71
2.3.1 Design for Manufacturability	73

2.3.2 DFA – Design for Assembly	74
2.3.3 DFMA – <i>Design for Manufacturability and Assembly</i>.....	75
2.3.4 Resultados Obtidos Através da Ferramenta DFMA.....	80
2.4 PRODUTOS DE BAIXO CUSTO ALIADOS À MANUFATURA ENXUTA.....	81
2.5 DESIGN FOR LEAN MANUFACTURING (DFLM)	82
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
3 PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES DFLM	86
3.1 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO	86
3.2 TABULAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSTA DO CONJUNTO DE DIRETRIZES	87
3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
4 VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES	102
4.1 ESTUDO DE TEMPOS	103
4.1.1 Methods Time Measurement - MTM	104
4.2 ESCOLHA DAS OPERAÇÕES PARA VERIFICAÇÃO	105
4.3 APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES	109
4.3.1 Verificação das operações do Posto 1	109
4.3.2 Verificação das Operações do Posto 5	116
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
5 CONCLUSÕES	125
5.1 PROPOSTA DE DIRETRIZES QUE ORIENTEM EQUIPES DE DESENVOLVIMENTO NA TAREFA DE CRIAR PRODUTOS ENXUTOS.....	126
5.1.1 Levantar as Necessidades de uma Nova Ferramenta DFX.....	126
5.1.2 Propor uma Nova Ferramenta DFX.....	127
5.1.3 Verificar Através de um Estudo de Campo	128
5.1.4 Avaliar Os Resultados Obtidos Durante a Verificação	128
5.2 CONTRIBUIÇÕES	129
REFERÊNCIAS.....	130
APÊNDICE.....	137
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE APOIO AO LEVANTAMENTO DE DIRETRIZES	138

1 INTRODUÇÃO

“O melhor projeto é dentre os mais simples aquele que funciona”. Tendo em mente esta frase de Albert Einstein, pode-se observar atualmente, em particular na indústria automotiva, um grande esforço por parte das equipes de desenvolvimento de produto, para a redução do número de componentes que constituem o produto final.

A velocidade com que se cria um novo produto, a competição por um preço mais acessível, a crescente quantidade de concorrentes e baixas margens de lucro têm levado fabricantes a buscar cada vez mais aumentar a produtividade de suas linhas de produção através da identificação e eliminação de desperdícios.

Em função de necessidades impostas pela diversidade de seus clientes e da falta de recursos disponíveis para fazer frente ao sistema de produção americano, a indústria japonesa se viu na contingência de criar um sistema de produção próprio, utilizando conceitos difundidos, porém não empregados pelo sistema de produção americano.

A indústria automotiva japonesa, em particular a Toyota Motor Company desenvolveu um sistema de produção adaptado do sistema de produção americano, que tem como principais características: alta agilidade, flexibilidade e, sobretudo eficiência, sendo capaz de produzir veículos que atendam às mais variadas necessidades, com alta qualidade e menor tempo de entrega e custos baixos.

Atividades antes consideradas essenciais para a confecção de um produto passaram a ser vistas como atividades desprovidas de valor. Womack et al. (2004), introduziu o termo *Lean Manufacturing* – resumizando o Sistema Toyota de Produção.

Normalmente, sistemas são formados pela união de três elementos: Filosofia, Tecnologia e Cultura.



FIGURA 1 - VISÃO SISTÊMICA DO SISTEMA DE PRODUÇÃO TOYOTA

FONTE: Elaborado pelo autor

Ao considerar a Manufatura Enxuta como um sinônimo do Sistema Toyota de Produção, e que em se tratando de um sistema, ele é formado por três partes ou elementos básicos, como mostra a figura 1.

Desta forma pode-se dizer que a Manufatura Enxuta é um sistema de produção que se apresenta como:

Uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar estas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz. Em suma, o pensamento enxuto é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos – menos esforço humano, menos equipamento, menos tempo e menos espaço – e, ao mesmo tempo, aproximar-se cada vez mais de oferecer aos clientes exatamente o que eles desejam. (WOMACK; JONES, 2004).

No entanto percebe-se ainda uma grande quantidade de desperdícios durante a etapa de fabricação, decorrente também, do projeto do produto.

Para Morgan e Liker (2006) a “maior parte dos esforços de transformação tem sido focados quase que exclusivamente no chão de fábrica.” Este é um primeiro passo lógico, mas deve ser somente o início. Para o autor, é necessário andar para trás na cadeia de transformação, em direção ao Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP), onde se encontra grande parte da fonte geradora de desperdícios ou valores.

Os conceitos que sustentam a Manufatura Enxuta podem e devem ser aplicados nos demais setores da indústria. Trataremos por abordagem enxuta (ou pensamento enxuto para alguns autores) a aplicação de tais conceitos neste sentido mais amplo.

No que tange o processo de desenvolvimento de produtos, as ferramentas DFM (*Design For Manufacturability*), DFA (*Design For Assembly*) e DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*), possuem importante papel, seja para facilitar o processo de fabricação, seja para melhorar sua produtividade.

O DFM, DFA e DFMA oferecem benefícios específicos para o processo de manufatura do produto. No entanto, tais ferramentas foram idealizadas em um período em que se buscava alta eficiência em produções de grandes lotes – a chamada produção em massa. Estas ferramentas na sua essência definem uma maneira proativa de projetar produtos que otimizem a manufatura (fabricação) e a montagem. Para isso, é fundamental o entendimento de como os produtos são manufaturados e montados, e uma das maneiras de sistematizar esse conhecimento é por meio das chamadas diretrizes.

Talvez porque os benefícios da Manufatura Enxuta não sejam tão familiares para as equipes de desenvolvimento de produto, estas equipes encontrem dificuldades em desenvolver produtos de forma a contribuir de maneira mais intensa com a Manufatura Enxuta.

A fim de que a Manufatura Enxuta atinja um nível de implantação mais elevado, é necessária uma maior contribuição por parte do desenvolvimento de produtos. A proposta de ferramentas de apoio ao desenvolvimento de produtos, inseridas no contexto da Manufatura Enxuta, pode ser uma forma de se viabilizar esta contribuição.

Considerando este cenário, em que grandes desperdícios são evidenciados na manufatura mesmo com a utilização da Manufatura Enxuta, faz-se necessário uma atuação nas fases de projeto, visando um aprimoramento das diretrizes existentes na concepção do produto para a Manufatura Enxuta.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA DA PESQUISA

DFMA é um termo difundido e marca pertencente aos Drs. Geoffrey Boothroyd e Peter Dewhurst, fundadores da Boothroyd Dewhurst, Inc. (BDI) em 1982, de acordo com Xie (2003). No entanto, “os estudos que precedem sua difusão na década de 1980 tiveram início em 1960, quando a General Electric desenvolveu para uso interno o Manual da Manufaturabilidade e Produtividade” (BRALLA, 1996). Neste período ainda buscava-se produzir grandes volumes de uma variedade, geralmente pequena, de itens, principalmente nos Estados Unidos, forte difusor da cultura de produção em massa.

Apesar da existência de diversas ferramentas de apoio ao desenvolvimento de produtos, nenhuma contribui diretamente com a identificação e eliminação dos sete desperdícios abordados pela Manufatura Enxuta durante as fases iniciais do processo de desenvolvimento de produtos.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Tendo percebido que o projeto de produtos possui uma significativa influência no fluxo de valor que ocorre na etapa de manufatura, e que as diretrizes de apoio ao DP, inseridas nas ferramentas DFM, DFA e DFMA não estão adequadamente sistematizadas para o sistema de produção enxuto, os objetivos geral e específicos serão definidos na seqüência.

1.2.1 Objetivo Geral

Proposta de diretrizes que orientem equipes de desenvolvimento na tarefa de criar produtos que contribuam com a Manufatura Enxuta.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Levantar as necessidades de uma nova ferramenta DFX, que reúna diretrizes que suportem equipes de desenvolvimento, na tarefa de projetar produtos que evitem desperdícios na etapa de manufatura, contribuindo assim, para a implantação da Manufatura Enxuta;
- Propor uma nova ferramenta DFX composta por diretrizes de suporte às equipes de desenvolvimento de produtos, através da reunião das melhores práticas para o desenvolvimento de produtos com foco na implantação da Manufatura Enxuta;
- Propor uma metodologia de utilização das diretrizes.

1.3 JUSTIFICATIVA

É um consenso que, na indústria, de forma geral, o desenvolvimento do produto tem importante participação na geração e eliminação de desperdícios, conseqüentemente apresentando potencial impacto na implantação da Manufatura Enxuta em sua totalidade.

Desde o livro *A Máquina Que Mudou o Mundo*, Womack et al. (2004), um dos primeiros a relacionar o processo de desenvolvimento de produtos com o sucesso da Manufatura Enxuta. Muito se tem escrito sobre a busca de um processo de desenvolvimento mais voltado à criação de produtos que beneficiem tal abordagem (como será demonstrado no Capítulo 2). Isto mostra importância do processo de desenvolvimento de produtos quando se busca implantar um sistema de produção baseado na Manufatura Enxuta.

Além disso, o surgimento de novas marcas e modelos de veículos do setor automotivo faz com que muitas empresas tenham buscado tornar seus processos de industrialização ainda mais eficientes e livres de desperdícios.

Sabendo que o produto também contribui para a geração de alguns dos desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta, espera-se com este trabalho que as equipes de desenvolvimento consigam minimizar a quantidade de desperdícios

ocorridos durante os processos de manufatura, decorrentes da concepção do produto.

Outro benefício importante é permitir a criação de um fluxo de valor mais eficaz, através da definição de operações de manufatura realmente necessárias, de forma a obter um custo de produção mais interessante.

1.4 FLUXO DE TRABALHO

A fim de evitar desperdícios durante o desenvolvimento do presente estudo, optou-se por traçar um fluxo de trabalho, de forma que as etapas que realmente agregam valor ao trabalho sejam estabelecidas em uma sequência lógica. De acordo com o tema abordado, o trabalho deve identificar todas as etapas estritamente necessárias para o bom desenvolvimento da pesquisa e atendimento dos resultados propostos. A expectativa da definição de um fluxo de trabalho apropriado é o de eliminar etapas que não agreguem valor e assim evitar desperdícios, tornando a dissertação enxuta.

A figura 2 mostra uma visão macro do fluxo de atividades planejadas para o desenvolvimento da dissertação.

Conforme ilustra a figura 2, o primeiro capítulo busca fazer uma breve introdução sobre o tema abordado, para em seguida definir o problema da pesquisa e traçar os objetivos do trabalho. Por fim, a Metodologia de Pesquisa Adotada, trata dos métodos utilizados para se atingir os objetivos traçados.

O Estado da Arte busca estabelecer o marco teórico acerca do tema abordado. Considerando o tema do trabalho e os objetivos, optou-se por fazer um embasamento teórico a sobre a Manufatura Enxuta e do Processo de Desenvolvimento de Produtos. Feito isto, buscou-se realizar um levantamento das publicações mais recentes, envolvendo a aplicação da abordagem enxuta durante o Processo de Desenvolvimento de Produtos. Uma releitura das ferramentas de apoio ao PDP, tais como DFMA foi feita, com o propósito de se identificar diretrizes (tais como DFM, DFA, etc.) que pudessem contribuir com a solução do problema de pesquisa.

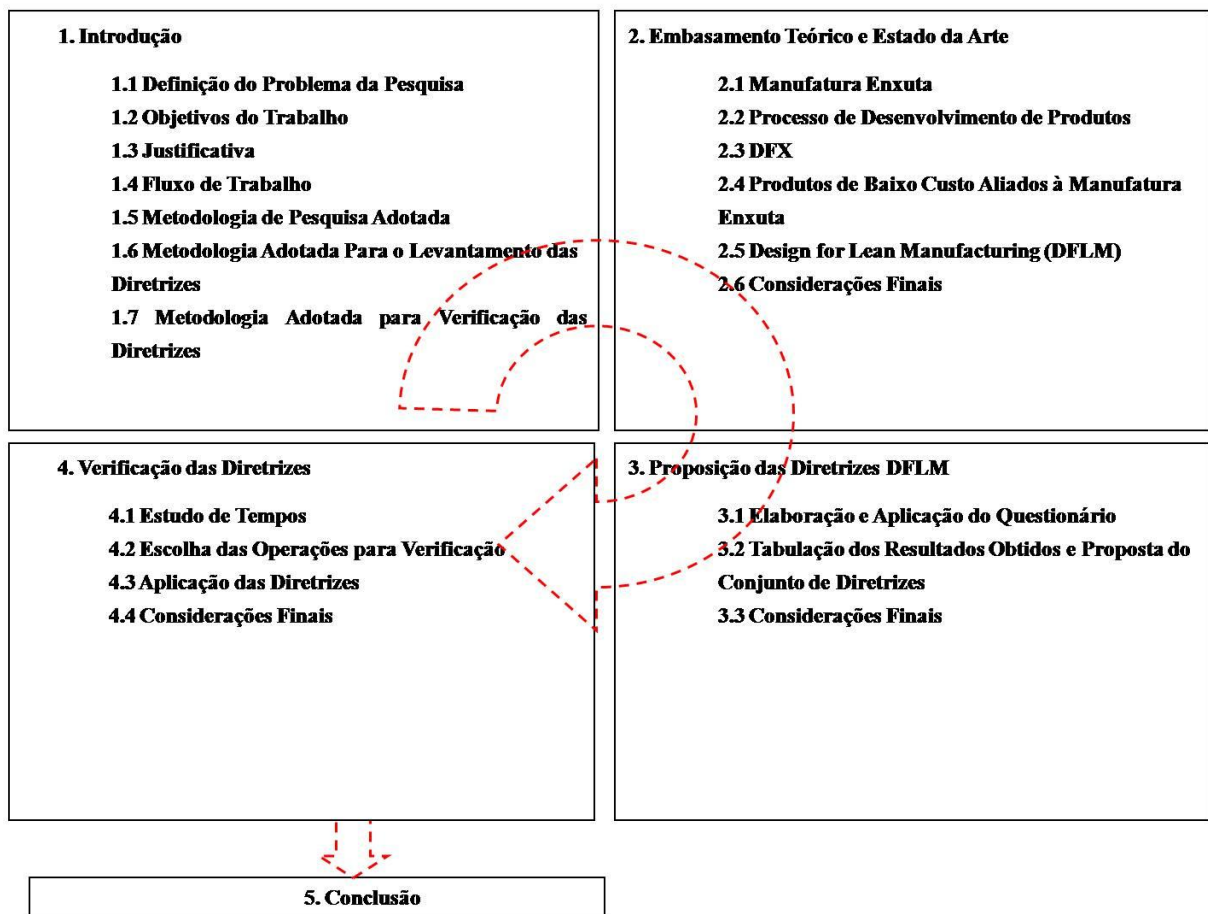


FIGURA 2 - VISÃO MACRO DO FLUXO DE TRABALHO ADOTADO

FONTE: Elaborado pelo autor

O terceiro capítulo trata da condução do processo de proposição e discussão das diretrizes de suporte ao PDP. Nesta etapa a metodologia de pesquisa é explicada em detalhes, como os questionários adotados no levantamento de diretrizes, e a discussão dos seus resultados.

O quarto capítulo busca testar, através de simulações práticas em campo, a contribuição das diretrizes levantadas no capítulo anterior, bem como discutir os resultados destes testes.

Finalmente o quinto capítulo é responsável pelo fechamento, fazendo um balanço do trabalho como um todo e os resultados obtidos.

1.5 METODOLOGIA DE PESQUISA ADOTADA

Este item busca mostrar as metodologias de pesquisa e ferramentas adotadas durante as etapas de investigação do problema proposto. Partindo-se da investigação do problema, será tratado o desenvolvimento de uma solução que atenda essa necessidade, através de uma abordagem prática que descreva o desenvolvimento de diretrizes de suporte ao desenvolvimento de produto.

De acordo com os objetivos do trabalho, identificou-se a necessidade de verificar a aplicação das diretrizes levantadas com o presente estudo, bem como sugerir uma metodologia para sua utilização. Por isso o estudo contou com as seguintes etapas de pesquisa:

1. Embasamento teórico e estado da arte;
2. Levantamento das diretrizes;
3. Verificação das diretrizes e proposta de metodologia de utilização das diretrizes.

1.5.1 Caracterização da Pesquisa

De acordo com Gil (1999), pesquisa é definida como “o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos”.

Inicialmente deve-se definir a abordagem da pesquisa a ser seguida, que pode ser quantitativa ou qualitativa.

Para Dobbin e Richardson (1999), entende-se por pesquisa quantitativa como sendo “um questionamento sobre um determinado problema, baseado no teste de uma teoria, medindo com números, e analisando dados através de métodos estatísticos”. Seu objetivo é determinar se a teoria inicialmente idealizada é verdadeira. Para Bignardi (2007) “seus resultados auxiliam o planejamento de ações coletivas e produz resultados passíveis de generalização, principalmente quando as populações pesquisadas representam com fidelidade o coletivo”.

Uma abordagem quantitativa é aquela na qual o pesquisador primordialmente utiliza apelos pós-positivistas para desenvolver conhecimento (i.e. pensamento causa e efeito, redução de variáveis específicas e hipóteses e questões, uso de medidas e observações, e o teste de teorias), emprega estratégias de investigação tais como as experimentais, *surveys*, coleta de dados em instrumentos predeterminados que rendam dados estatísticos (CRESWELL, 2003).

De acordo com Minayo (2003) a pesquisa qualitativa se preocupa com um nível de realidade que não pode ser quantificado.

A pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis. (MINAYO, 2003)

Considerando os dois tipos de pesquisa, pode-se concluir que a pesquisa quantitativa, ao contrário, da qualitativa, deixa menos margem a dúvidas, uma vez que suas conclusões sempre estão baseadas em dados mesuráveis, ao invés de análises subjetivas.

De acordo com Selltitz et al. (1967 apud GIL, 1999), as pesquisas podem ainda se classificar em três grupos: “estudos exploratórios, estudos descritivos e estudos explicativos.”

Para Gil (1999), “**pesquisas exploratórias** tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, tendo em vista, a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores”. De todos os tipos de pesquisa, estas são as que apresentam menor rigidez de planejamento. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso. Procedimentos de amostragem e técnicas quantitativas de coleta de dados não são costumeiramente aplicados nestas pesquisas.

Gil (1999) afirma que:

Pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, do tipo aproximativo, acerca de determinado fato, Este tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis.

Gil (1999) sugere que esta seja uma primeira etapa de uma pesquisa mais ampla.

Para o autor, **pesquisas descritivas** têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Segundo Gil (1999), “uma de suas características mais significativas está na utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados”.

De acordo com o autor, as “pesquisas descritivas vão além da simples identificação da existência de relações entre variáveis, pretendendo determinar a natureza dessa relação. Neste caso tem-se uma pesquisa descritiva que se aproxima de explicativa”.

Para Gil (1999), **pesquisas explicativas:**

têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

A natureza da pesquisa escolhida será a exploratória, uma vez que a finalidade deste estudo é desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias.

Conforme Gil (2002) menciona, “as pesquisas são delineadas de acordo com o procedimento adotado para a coleta dos dados”.

As pesquisas adotadas no transcurso do presente trabalho são: pesquisa bibliográfica, levantamento de campo, pesquisa experimental e estudo de caso.

Para o autor, “a pesquisa bibliográfica é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”.

A pesquisa bibliográfica será utilizada com a finalidade de se obter o embasamento teórico a respeito da Manufatura Enxuta e Processo de Desenvolvimento de Produtos, bem como de levantar o que de mais recente foi escrito a respeito destes assuntos. Este tipo de pesquisa também é essencial para que se identifiquem trabalhos que eventualmente já tenham abordado o problema da pesquisa tratado no estudo.

Também, de acordo com Gil (2002), o estudo de caso é caracterizado pelo “estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado”

As diretrizes levantadas no Capítulo 3 serão verificadas no Capítulo 4, através de um estudo de caso, realizado em uma indústria automotiva.

1.5.2 Ambiente da Pesquisa

Embora o foco deste estudo não seja somente a indústria automotiva, este é o ambiente de trabalho do pesquisador, proporcionando uma facilidade de se investigar e exercitar as técnicas propostas por este estudo. Além disso, o estado da arte da Manufatura Enxuta, principalmente no que tange o Processo de Desenvolvimento de Produtos, tem sua sustentação na indústria automotiva, mais especificamente a Toyota. A indústria automotiva ainda tem sido o setor que mais lança novos produtos de alto valor agregado, sendo talvez o mais desafiador ambiente de desenvolvimento de produtos.

1.5.3 Restrições do Estudo

Como pode ser observado na literatura, (WOMACK & JONES 2004; LIKER 2004), a Abordagem Enxuta vem sendo aplicada em diferentes processos de indústrias de manufatura (manufatura, desenvolvimento de produtos, *marketing*, etc.).

Como foi explicado nos Objetivos Específicos, o resultado esperado com o presente trabalho é um conjunto de diretrizes que permita às equipes de desenvolvimento, contribuir com a Manufatura Enxuta através da concepção de produtos que gerem uma quantidade mínima de desperdícios. Com isso, o presente estudo tratará com maior ênfase às etapas iniciais do processo de desenvolvimento (Projeto Detalhado), bem como à etapa de manufatura, por ser a etapa beneficiada com pelas aplicações deste conjunto de diretrizes.

1.6 METODOLOGIA ADOTADA PARA O LEVANTAMENTO DAS DIRETRIZES

Estabelecido o marco teórico sobre os assuntos abordados no estudo, o levantamento de campo será utilizado na primeira etapa do processo de levantamento de diretrizes. Para Gil (2002), “pesquisas deste tipo se caracterizam pela interrogação direta de pessoas cujo comportamento se deseja conhecer”.

Muitos autores defendem o uso de questionários para se fazer um levantamento prévio das possíveis hipóteses ou soluções para um determinado problema (BLAIKIE, 2000; FACHIN, 2003).

Assim, um questionário será utilizado com a finalidade de se obter informações necessárias para o levantamento de diretrizes.

De acordo com Fachin (2003), a pesquisa de campo “orienta-se por hipóteses que podem ser obtidas através de vários instrumentos de pesquisa, como formulários e questionários”.

Como foi mencionado na introdução, o objetivo geral deste estudo é a “proposta de diretrizes que orientem equipes de desenvolvimento na tarefa de criar produtos enxutos e que contribuam com a Manufatura Enxuta”. O levantamento de tais diretrizes pode ser realizado através de pesquisas bibliográficas, a fim de se verificar o que já foi proposto por outros estudos, e por intermédio de entrevistas com potenciais usuários destas diretrizes, a fim de se levantar diretrizes ainda não registradas.

Durante a pesquisa bibliográfica serão levantadas diretrizes propostas por diferentes autores, no entanto, será necessária uma classificação conforme as premissas da Manufatura Enxuta.

A maneira encontrada para se classificar as diretrizes levantadas, foi uma avaliação junto a potenciais usuários através de um questionário composto por perguntas abertas e fechadas, permitindo também identificar novas diretrizes, além das previamente levantadas. Através das perguntas fechadas, as diretrizes levantadas no Capítulo 2, poderão ser classificadas conforme o desperdício mais fortemente evitado, com base na experiência dos respondentes. Já através das perguntas abertas, tem-se a oportunidade de levantar outras diretrizes ou expectativas em domínio do entrevistado, conforme sua experiência prática.

O questionário aplicado nas entrevistas terá quatro funções básicas:

- Avaliar a aplicabilidade do conjunto de diretrizes selecionadas a partir da literatura, quanto à sua eficácia em combater os desperdícios minimizados através da Manufatura Enxuta.
- Identificar necessidades e desejos de possíveis usuários e beneficiados pela ferramenta DFLM (engenheiros de produto, engenheiros de manufatura, etc.), para então traduzi-las em novas diretrizes DFLM;
- Levantar novas diretrizes ainda em domínio dos respondentes e do autor do presente estudo com base em sua experiência prática;
- Obter como resultado, uma relação direta entre as diretrizes avaliadas e propostas e um dos sete desperdícios minimizados através da Manufatura Enxuta.

1.6.1 Ambiente de Aplicação do Questionário

O processo de levantamento de diretrizes está baseado na aplicação de um questionário, aplicado a uma determinada população.

Para definição do ambiente da pesquisa, os seguintes aspectos foram considerados:

- a) Cenário de utilização das diretrizes levantadas por este estudo (processos de desenvolvimento de produtos com foco na implantação da Manufatura Enxuta);
- b) Potenciais usuários das diretrizes levantadas;
- c) Ambiente de verificação do conjunto de diretrizes DFLM (montadora de automóveis);
- d) O autor desenvolve atividades como engenheiro em uma indústria montadora de automóveis;

Levando em consideração os aspectos supracitados, o questionário foi submetido aos respondentes da empresa onde o autor desenvolve suas atividades, e respondentes de seus fornecedores.

A empresa onde o autor desenvolve suas atividades como engenheiro é uma montadora, sendo esta a empresa maior e cliente de um conjunto de empresas

fornecedoras. Nesta empresa são montados veículos de passeio e utilitários, em plantas distintas, situadas em um mesmo complexo industrial.

Isso tornou possível a aplicação do questionário proposto, tanto na empresa onde o autor desenvolve suas atividades, quanto nas suas fornecedoras.

1.6.2 Perfil dos Respondentes

Devido á natureza da pesquisa e ao perfil de aplicação das diretrizes levantadas (processo de desenvolvimento de produtos com impacto no processo de manufatura) decidiu-se que o perfil das pessoas selecionadas para responderem ao questionário proposto deveria ser de:

- a) Engenheiros com experiência em processo de desenvolvimento de produtos;
- b) Engenheiros com experiência em processos de manufatura (de distintos setores industriais);
- c) Gestores de áreas de desenvolvimento de produtos;
- d) Gestores de áreas de manufatura;
- e) Consultores de áreas correlatas.

1.6.3 Número de Respondentes

Considerando o ambiente de aplicação do questionário e o perfil definido para os respondentes, em um primeiro momento o questionário foi enviado por correio eletrônico para oitenta e seis possíveis respondentes, que fazem parte do círculo de profissionais relacionados com o autor.

Como a taxa de retorno foi inferior a cinco por cento (seis retornos), optou-se por mudar a estratégia de entrevistas, de forma que o questionário foi aplicado através de entrevistas realizadas pessoalmente e por teleconferências. Com isso, obteve-se um total de trinta questionários respondidos.

1.6.4 Limitações do Processo de Levantamento de Diretrizes

Na literatura, podem-se encontrar diretrizes de suporte ao Desenvolvimento de Produtos, destinadas a uma grande variedade de processos de manufatura, além dos processos mais comumente conhecidos (estamparia, usinagem, soldagem e montagem).

Como já foi mencionada, a etapa de verificação das diretrizes será realizada em uma indústria automotiva, mais especificamente uma montadora de automóveis, cujos processos de manufatura normalmente compreendem: usinagem (motores), estampagem, soldagem, pintura e montagem.

Sendo assim o processo de levantamento de diretrizes DFLM focará os processos de usinagem, estampagem, soldagem e montagem.

O processo de pintura não será abordado por esse trabalho.

1.7 METODOLOGIA ADOTADA PARA VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES

Como este estudo tem caráter quantitativo, é muito importante que o procedimento adotado para a verificação das diretrizes esteja suportado por dados numéricos que permitam quantificar o resultado.

O princípio do pensamento enxuto é a obtenção de cada vez mais com cada vez menos (menos recursos, menos pessoas, menos tempo, etc.). Muitas são as formas de se perceber e medir este aumento de eficiência: redução de tempos de manufatura, redução de estoques, redução de espera, redução de superprodução, redução de defeitos, etc. Ao se reduzir o tempo de montagem de um veículo ou produto, automaticamente contribui-se para reduzir o lead time de entrega do produto final, reduzindo também o tempo de espera entre etapas de montagem e a necessidade de estoques intermediários (pulmões). Barker (1994) demonstrou o aumento de valor agregado em linhas de montagem, através da diminuição de tempo de montagem.

A exemplo de Barker (1994), este estudo vai investigar o aumento de valor agregado, ainda nas fases iniciais do PDP, através da diminuição do tempo de

montagem. Para isso, serão tomadas medidas de tempo de determinadas montagens de um determinado modelo de veículo, em uma linha de montagem automotiva, antes e depois da aplicação das diretrizes DFLM.

A metodologia adotada para se verificar a contribuição do conjunto de diretrizes levantado no Capítulo 3 consiste em aplicar diretrizes DFLM para alguns componentes de um veículo, e comparar os seus tempos de montagem antes e depois da aplicação destas diretrizes.

Como o objeto de estudo é um veículo em fase de produção, decidiu-se pela aplicação das diretrizes DFLM em dois componentes escolhidos através do processo de levantamento de tempos de montagem.

O mapeamento de tempos de montagem do veículo se restringirá a uma determinada etapa do processo de montagem, escolhida por já ter sido beneficiada com a implantação da Manufatura Enxuta, de forma que seu processo de montagem encontra-se otimizado e isento de boa parte dos desperdícios. Ou seja, esta etapa do processo de montagem é enxuta, restando ganhos potenciais, advindos de modificações do produto.

Dentro da etapa de processo de montagem definida, serão ainda escolhidas as operações com maior potencial de ganho de produtividade.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO E ESTADO DA ARTE

2.1 MANUFATURA ENXUTA

Para Womack e Jones (2004), ser enxuto “é uma forma de fazer cada vez mais com cada vez menos”.

O livro publicado por Womack et al (1990) é resultado de cinco anos de estudo explorando as diferenças entre a produção em massa e a produção enxuta num significativo ramo industrial – o automotivo. Deste trabalho surgiu o termo *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta, tratando de um conjunto de técnicas de produção japonesas, que vinham se mostrando mais eficientes do que as técnicas de produções americanas e européias, oriundas do sistema de produção em massa desenvolvido por Henry Ford.

No livro “O Sistema Toyota de Produção” de Ohno (1988), o autor, então vice-presidente da Toyota Motor Company, introduziu conceitos, tais como o de sistema de produção puxada, onde “o processo final retira as quantidades necessárias do processo precedente num determinado momento, e este procedimento é repetido na ordem inversa passando por todos os processos anteriores” (OHNO, 1988).

Para Abdullah (2003), a idéia básica por trás da abordagem enxuta, praticada por muitos anos no Japão, é a “eliminação de desperdícios, redução de custos e autonomia dos funcionários”.

Como já foi mencionado, a Manufatura Enxuta é comumente associada ao Toyota Production System (TPS). De acordo com Slack et al. (2002), esta abordagem encontra na filosofia JIT (*Just in Time*) o seu principal pilar de sustentação. “O *Just in Time* significa produzir bens e serviços exatamente no momento em que são necessários – não antes para que não formem estoques, e não depois para que seus clientes não tenham que esperar”.

“*Just-in-time* significa que, em um processo de fluxo, as peças corretas necessárias à montagem alcançam a linha de montagem no momento em que são necessárias e somente na quantidade necessária.” (OHNO, 1988)

Para o autor, o JIT é normalmente chamado de uma filosofia de manufatura. Ao mesmo tempo é uma coleção de várias ferramentas e técnicas, que oferecem as condições operacionais para suportar tal filosofia.

A fim de viabilizar a produção no volume e tempo necessários em todas as etapas do processo de fabricação, surgiu então um método de operacionalizar o sistema de planejamento e controle puxado, denominado *Kanban* - instruções colocadas em um cartão que, num olhar rápido, comunicam as informações necessárias na estação de trabalho. Ou seja, *Kanban* é o meio utilizado para transmitir informação sobre apanhar ou receber a ordem de produção. O recebimento de um *kanban* dispara o movimento, o fornecimento de uma unidade ou de um contenedor - padrão de unidades.

De acordo com Slack et al. (2002), o JIT é composto por uma coleção de ferramentas e técnicas que representam os meios para a eliminação do desperdício. São elas: disciplina; flexibilidade; igualdade; autonomia; desenvolvimento de pessoal; qualidade de vida no trabalho; criatividade; projeto para manufatura; foco na operação; máquinas simples e pequenas; arranjo físico e fluxo; manutenção produtiva total (TPM); redução de *set-up*; envolvimento total das pessoas; visibilidade; fornecimento JIT.

Além das ferramentas supracitadas, Ohno (1988), introduziu o conceito da automação, ou seja, automação com um toque humano. Dada a necessidade de se evitar a produção de lotes defeituosos, a Toyota incentivou o desenvolvimento de máquinas de produção automáticas, acopladas a dispositivos que, interrompem sua produção automaticamente, caso alguma peça com defeito seja produzida. Dessa forma, uma máquina com problemas é rapidamente identificada e tratada.

Para Womack e Jones (2004):

O pensamento enxuto é uma forma de especificar valor, alinhar na melhor sequência as ações que criam valor, realizar essas atividades sem interrupção toda vez que alguém as solicita e realizá-las de forma cada vez mais eficaz.

Liker (2004) lista sete desperdícios identificados através do pensamento enxuto:

Superprodução: produção de itens que ainda não foram solicitados, gerando a necessidade de serem armazenados e transportados mais vezes do que o necessário;

Espera: trabalhador meramente observando uma máquina automatizada, ou esperando pela próxima etapa de um processo, chegada de peças em atraso, gargalos de produção, etc;

Transportes desnecessários: necessidade de transporte do produto em processo por longas distâncias entre uma etapa e outra, ou entre etapas desnecessárias;

Superprocessamento e processamento incorreto: etapas de manufatura desnecessárias. Processos ineficientes devido a ferramentas pobres e projeto de produto, necessitando movimentos desnecessários podendo produzir baixa qualidade. Desperdícios quando se exige qualidade acima da necessária;

Excesso de inventário: excesso de material bruto, de produto em processo, ou produtos acabados, provocando longos tempos de entrega, obsolescência, bens danificados, custo de armazenamento e transporte;

Movimentações desnecessárias: quaisquer movimentações efetuadas pelos funcionários, seja para procurar, seja para alcançar peças;

Defeitos: produção de peças defeituosas. Todo tipo de retrabalho, perda de produtos, inspeção que não agregam valor.

2.1.1 Diferenças entre o Sistema de Produção Artesanal, em Massa e Enxuto

Womack et al (2004), concluiu que o produtor artesanal lança mão de trabalhadores altamente qualificados e ferramentas simples, mas flexíveis para produzir exatamente o que o consumidor deseja: um item de cada vez. No entanto este tipo de produção custa muito caro. Dada a alta demanda para determinados produtos, como automóvel, surgiu o sistema de produção em massa.

De acordo com Womack et al. (2004), “o produtor em massa utiliza profissionais excessivamente especializados para projetar produtos manufaturados por trabalhadores semi ou não-qualificados, utilizando máquinas dispendiosas e especializadas em uma única tarefa”. As máquinas produzem produtos padronizados em altíssimos volumes. Como o maquinário é caro e pouco versátil, o produtor em massa adiciona várias folgas (suprimentos adicionais, trabalhadores extras e espaço extra) para assegurar a continuidade da produção. Como a mudança para um novo produto é muito dispendiosa, o produtor em massa mantém os modelos padrão em produção pelo maior tempo possível. Como resultado o consumidor dispõe de preços mais baixos, mas à custa de variedade, e com métodos de trabalho que muitos trabalhadores consideram monótonos e sem sentido.

O produtor enxuto, em contraposição, combina as vantagens das produções artesanais e em massa, evitando altos custos dessa primeira e a rigidez dessa última. Com essa finalidade, emprega a produção enxuta equipes de trabalhadores multiquificados em todos os níveis da organização, além de máquinas flexíveis e cada vez mais automatizadas, para produzir imensos volumes de produtos de ampla variedade. (WOMACK et al., 2004)

Para Abdullah (2003), a abordagem enxuta trabalha com todas as facetas do mapeamento do fluxo de valor, eliminando desperdício para reduzir custos, gerar capital, aumentar vendas e manter competitivo no crescente mercado global.

Conforme observou Womack et al. (2004), uma das principais diferenças entre os processos de desenvolvimento de produtos se dava na forma de reunir os recursos necessários para sua condução. O sistema de produção em massa de grandes companhias automotivas americanas, não dispunha dos recursos necessários para a condução de um novo projeto completamente, prevalecendo a estrutura funcional, com coordenadores de projeto atuando de forma transversal. Os coordenadores, sem a força de uma posição gerencial, tinham a dura tarefa de motivar pessoas subordinadas a um superior hierárquico funcional a desenvolver atividades que nem sempre estavam alinhadas com suas tarefas funcionais, levando a freqüentes atrasos no cronograma de projetos.

O autor por sua vez observou que o sistema de produção enxuto apresentou uma estrutura organizacional bem distinta da utilizada no sistema de produção em massa. Nesta estrutura, um gerente de projeto dispunha dos recursos necessários para condução do projeto integralmente. Além disso, sempre que o produto projetado apresentar variantes, estas podem ser desenvolvidas em paralelo, por equipes de projeto distintas, considerando uma plataforma comum, economizando tempo.

2.1.2 Princípios do Sistema de Produção Enxuto

Além das ferramentas citadas por Ohno (1988), Slack et al. (2002), entre outros, o segundo livro de Womack e Jones (2004), relaciona cinco princípios que sustentam a abordagem enxuta. Estes princípios são essenciais para a compreensão da abordagem enxuta.

São eles:

a) Especificação do Valor

O ponto de partida para a abordagem enxuta é a definição de valor. O valor é definido pelo cliente, normalmente o final. O valor encontra-se diretamente relacionado à concepção produto, que deve ser a materialização do desejo de um cliente potencial. Um produto definido tendo como base a real expectativa do cliente não é necessariamente um produto complexo, com elevada sofisticação tecnológica. Um produto simples, com peças intercambiáveis e número reduzido de etapas de fabricação, pode ser traduzido em um produto de valor, se atender às expectativas de seu cliente final.

Ao conceber um produto ou serviço deve-se ter em mente se as inovações que o produto oferece, a tecnologia e complexidade que o processo de transformação requer, são enxergadas pelo cliente.

De acordo com Womack e Jones (2004):

O pensamento enxuto deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente valor em termos de produtos específicos com capacidades específicas oferecidas a preços específicos através do diálogo com clientes específicos. Para isso, é preciso ignorar os ativos e as tecnologias existentes e repensar as empresas com base em uma linha de produtos com equipes de produtos fortes e dedicadas.

O autor ainda questiona o desenvolvimento de produtos focado única e exclusivamente no custo de produção. Este modelo de desenvolvimento costuma gerar projetos sem imaginação e muitas vezes ignorados pelos clientes. Uma mera aceleração deste processo através da engenharia simultânea e ampliação da variedade de produtos pode simplesmente levar projetos ruins ao mercado mais rapidamente.

A especificação do valor é talvez a contribuição mais importante que o time de desenvolvimento de produtos pode oferecer à Manufatura Enxuta. A tarefa mais importante na especificação de valor, depois de definido o produto, é determinar o custo-alvo com base no volume de recursos e no esforço necessário para fabricar um produto com determinadas especificações e capacidades, isto se todo desperdício visível no momento for eliminado do processo.

b) Fluxo de Valor

Para Rother e Shook (1999):

Um fluxo de valor é toda a ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto: (1) o fluxo de produção desde a matéria-prima até os braços do consumidor, e (2) o fluxo de projeto do produto, da concepção até o lançamento.

Uma característica do fluxo de valor, de acordo com Womack e Jones (2004), é a exposição de três tipos de desperdício ao longo de sua extensão: (1) Atividades que criam valor: como a solda de uma peça, ou o transporte de um passageiro; atividades que não criam valor, mas são inevitáveis com as atuais tecnologias e ativos de produção: inspeções de qualidade (chamados desperdícios tipo um); e etapas adicionais que não criam valor e devem ser evitadas (chamados desperdícios tipo dois).

Atividades que não podem ser medidas não podem ser adequadamente gerenciadas. As atividades necessárias para criar, pedir e produzir um produto específico que não possam ser precisamente identificadas, analisadas e associadas não podem ser questionadas, melhoradas e, por fim, aperfeiçoadas.

A mesma teoria aplicada ao sistema de produção pode ser aplicada ao processo de desenvolvimento de produtos, onde etapas que não necessariamente agregam valor, como tempos de espera entre uma etapa e outra enquanto aguardam-se *feedback* para decidir se o projeto deve ou não sofrer alterações. A grande contribuição esperada com a aplicação desta metodologia seria o desenvolvimento mais focado nas necessidades reais do cliente alvo, evitando o desenvolvimento de produtos “envelhecidos” pelo tempo demasiadamente longo de projeto.

De acordo com Rother e Shook (1999), a principal característica de um fluxo de valor enxuto é “a capacidade de fabricar seus produtos em um fluxo contínuo completo com *lead time*¹ suficientemente curto para permitir produção somente dos pedidos confirmados e tempo de mudança zero entre os diferentes produtos”.

A redução do lead time reduz o tempo de retorno financeiro (tempo entre o pagamento pela matéria prima e o recebimento pelo produto acabado).

¹ é o tempo compreendido pelo momento de entrada do material até sua saída do inventário. (LAMBERT *et al.*, 1998)

O excesso de produção traz consigo problemas como, encobrimento de defeitos em estoques em processo, uma vez que estes defeitos só são descobertos quando voltam a entrar no processo de fabricação.

c) Fluxo

Esse princípio busca eliminar retrofluxos, sucata e paralisações de todos os tipos, a fim de que o projeto, a emissão de pedidos e a fabricação do produto específico possam prosseguir continuamente.

De acordo com Womack e Jones (2004), a abordagem enxuta cria equipes de desenvolvimento dedicadas com todas as habilidades necessárias para conduzir especificações de valor, projeto geral, engenharia detalhada, compras, equipamentos e planejamento da produção na mesma sala, em um curto período de tempo, utilizando uma metodologia comprovada de processo decisório em equipe utilizando a Função Desdobramento da Qualidade (QFD). Esse método permite que equipes de desenvolvimento padronizem o trabalho para que a equipe siga sempre a mesma abordagem.

A aplicação deste princípio em todo o processo de desenvolvimento (incluindo manufatura) visa identificar e eliminar possíveis etapas de paralisações, bem como diferenças de velocidade de fluxo de evolução de projeto ou de fabricação, responsáveis pela existência de estoques de informações (projeto), ou materiais (manufatura). A manufatura é altamente beneficiada pela correta concepção de produtos, quando busca uma uniformidade do fluxo produtivo. Uma equipe de desenvolvimento, devidamente suportada por elementos responsáveis pela concepção do processo de fabricação, deve antever possíveis causas de gargalos e diferenças de fluxo produtivo causadas pela concepção do produto.

d) Puxar

Esse princípio visa a produção de bens ou serviços que estejam de acordo com a expectativa do cliente. Detalhando, significa que quando a etapa anterior foi cumprida com êxito, todos os gargalos e principalmente, desníveis de velocidade de produção foram eliminados. Isso também significa que o sistema produtivo é flexível suficiente para mudar ferramentas ou equipamentos de produção, sem a necessidade de estoques intermediários. Com isso é possível produzir somente aquilo que é demandado pela etapa seguinte, puxando a produção. Esse princípio se aplica também ao consumidor final, que deve ser “alimentado” somente quando este solicitar, e com o que solicitar. Produtos mal concebidos poderão ficar

estocados, por não atenderem necessidades básicas impostas pelo cliente final. Da mesma forma uma concepção feliz do produto, evita sistemas complexos de produção, necessitando de estoques intermediários de produção, a fim de administrar trocas destes sistemas e desbalanceando a cadeia produtiva.

e) Perfeição

Para Womack e Jones (2004), na medida em que as organizações começarem a especificar valor com precisão, a identificar o fluxo de valor total, passarem a fazer com que seus passos para a criação de valor fluam continuamente, e deixem que os clientes puxem o valor, estas organizações estarão se aproximando da perfeição.

De acordo com Womack e Jones (2004), um dos grandes obstáculos ao progresso rápido é “a inadequação de grande parte da tecnologia de processamento existente, bem como projetos de produtos, às necessidades enxutas da empresa.” De acordo com o autor, uma idéia clara de direção, bem como o conhecimento dos produtos que precisam ser fabricados com maior flexibilidade, em volumes menores, e em fluxo contínuo, oferece uma orientação crítica para os técnicos nas funções que desenvolvem os projetos.

Para Bertelsen e Koskela (2004), a otimização do fluxo de valor para o consumidor é o “princípio mais importante, uma vez que os três princípios intermediários giram em torno do fluxo de valor, enquanto o primeiro e o último seriam objetivos gerais.” No entanto, uma correta avaliação do que é valor para o cliente determina o sucesso de todas as demais atividades.

Alguns autores como Pinto (2008) e CLT (2008) sugerem a inclusão de mais dois princípios, apresentados na seguinte seqüência:

- Conhecer *stakeholders*²;
- Valor;
- Fluxo de valor;
- Fluxo;
- Puxar;
- Perfeição;
- Inovação.

² Qualquer grupo ou indivíduo que pode afetar ou ser afetado pela realização dos objetivos dessa empresa. (Freeman, 1984, apud LYRA; GOMES, 2006)

Pinto (2008) defende a idéia de que “uma organização que apenas se concentre na satisfação do seu cliente negligenciando os interesses e necessidades das outras partes (ex. colaboradores) estará a comprometer o seu futuro”. Além disso, o autor também propõe uma segunda variação para este elemento: a de “focalizar a atenção no cliente final e não apenas no próximo cliente da cadeia de valor. Não importa em qual etapa da cadeia de valor a empresa se encontra, a sua preocupação deverá ser sempre melhor servir o cliente final.”

As duas propostas podem surtir efeitos colaterais, uma vez que o foco nos *stakeholders* tira a atenção do cliente da atividade em questão. Com isso corre-se o risco de entregar um resultado que atenda ao patrocinador (*stakeholder*), mas não ao cliente, gerando desperdício e a necessidade de se empurrar a produção.

O segundo elemento defendido pelos autores é o da inovação. Pinto (2008) afirma que a inovação é necessária para se “desenvolver novos produtos, serviços e processos, de forma a criar valor”.

2.1.3 O Valor e a Abordagem Enxuta

Conforme foi mencionado no capítulo anterior, o valor é talvez o elemento mais importante do Sistema de Produção Enxuto, uma vez que, de uma maneira ou de outra, os demais elementos orbitam ao seu redor.

Para Murman et al. (2002), o valor é “resultado de toda ação que provém algo útil ou importante dentro de alguma organização, sob o ponto de vista não somente do cliente final, mas também de todos os envolvidos no processo: *stakeholders*.”

Para os autores não é suficiente simplesmente eliminar desperdícios, mas fazê-lo de forma a agregar valor. Assim, a eliminação de desperdícios pode aumentar a capacidade de se identificar e entregar valor, enquanto a criação de valor traz recursos adicionais para eliminar tipos cada vez mais profundos de desperdícios. A aplicação sistemática desta metodologia é denominada *lean value* – valor enxuto.

O estudo realizado por Murman et al. (2002) é suportado por cinco princípios, que permitem a implantação da abordagem enxuta focada na criação de valor:

- Criar valor enxuto fazendo o trabalho corretamente e fazendo o trabalho certo;
- Entregar valor somente depois de identificados o valor de todos os *stakeholders* e elaboradas propostas de valor robustas;
- Compreender totalmente o valor enxuto somente através de uma perspectiva empresarial;
- Conferir a interdependência entre níveis empresariais a fim de aumentar o valor enxuto;
- Pessoas, não somente processos efetivam o valor enxuto.

Uma vez que a percepção de valor é algo muito subjetivo, o que é percebido como valioso por um *stakeholder*, pode ser percebido como não valioso para outros. Portanto, o valor é traduzido para cada *stakeholder* na forma como encontram importância, utilidade, benefício e recompensa em troca de sua respectiva contribuição para a empresa.

De acordo com Murman et al. (2002), “é na fase de proposta de valor que as necessidades de *stakeholders* específicos são atendidas.” Sua finalidade é estabelecer o fluxo de valor, baseado nas propostas de valor destes *stakeholders*. Desta forma pessoas, grupos e empresas fornecem esforços e recursos para os fluxos de valor, com a finalidade de criar valor.

São poucos os autores que se preocupam em traçar um paralelo entre o custo e o desperdício. Entre eles podemos citar Murman (2002) e Womack et al. (2004). Uma das consequências de uma diferenciação entre custo e desperdício deficiente, pode ser a eliminação de um custo necessário para se manter algo valioso, sob o ponto de vista de um dos *stakeholders*. A eliminação total de elementos classificados como desperdícios por alguns *stakeholders* pode provocar uma elevação demasiada de custos de manutenção da operação do processo. Como exemplo, podemos citar a eliminação radical de estoques de peças abastecidas em borda de linha de montagem, com a inclusão de abastecimentos *just-in-time*. Peças estocadas na borda de linha podem parecer um desperdício para alguns *stakeholders* (como engenharia de processos, por exemplo), no entanto, sua

eliminação pode aumentar muito os custos logísticos. Dessa forma, é compreensível que, para a área de logística, estoques de peças na borda de linha sejam vistos como valor.

Como um dos objetivos do pensamento enxuto é eliminar desperdícios e também reduzir custos, sempre que uma determinada etapa do processo for interpretada como desperdício, sua eliminação deve ser confrontada com o aumento de custos, a fim de se verificar sua viabilidade.

Uma das maiores dificuldades da tarefa de eliminar desperdícios é conseguir enxergá-los. Aprender a enxergar o valor é um dos passos mais importantes da incorporação do pensamento enxuto.

Para Mcmanus e Millard (2002), Análise do Fluxo de Valor (VSA), é “uma metodologia através da qual, princípios enxutos são aplicados no exame de processos de negócios.” Para os autores, VSA pode ser definido como um método através do qual gerentes e engenheiros procuram aumentar o entendimento do esforço de desenvolvimento de sua companhia, com o propósito de aumentar estes esforços. Os autores afirmam que o propósito de se mapear e analisar o fluxo de valor (*value stream*) é minimizar desperdícios em processos, permitir o fluxo fazendo com que seus processos tenham como ideal a resposta rápida aos seus clientes.

No contexto de desenvolvimento de produtos, isso significa resposta rápida às necessidades de seus clientes, tanto no que se refere a novos produtos, quanto a adaptações de produtos existentes.

Mcmanus e Millard (2002) afirmam que o “princípio fundamental é o mapeamento do estado atual de um processo e aplicação de técnicas enxuta para criar uma visão evoluída do estado futuro do processo.” As figuras 3 e 4 ilustram respectivamente os estados atual e futuro do mapeamento de um determinado processo. Para desenvolver este estado futuro, atividades que não agregam valor são identificadas. Estas atividades se enquadram em um dos dois tipos de desperdícios mencionados anteriormente (tipo um, se não agregarem valor, mas forem necessárias, ou tipo dois se puderem ser eliminadas).

Em seu trabalho de pesquisa, Mcmanus e Millard (2002) descrevem uma série de ferramentas de análise de processo, que têm por objetivo auxiliar na elaboração de um mapeamento do fluxo de valor:

- Gráfico de Gantt;
- Mapa de Ward/Lei;

- Mapeamento de Fluxo de Processo;
- Aprendendo a Enxergar;
- Dinâmica de Sistema;
- Matriz de Estrutura de Projeto.

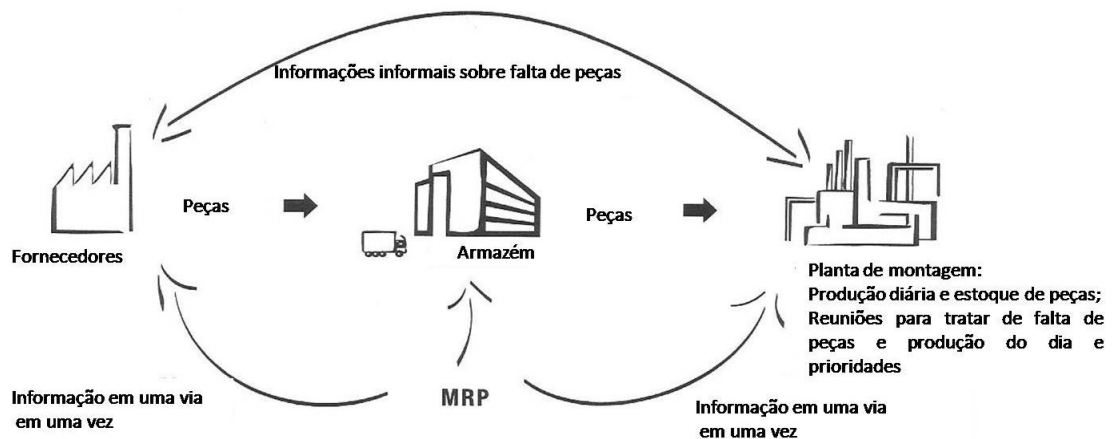


FIGURA 3 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO ATUAL
FONTE: Murman et al. (2002)

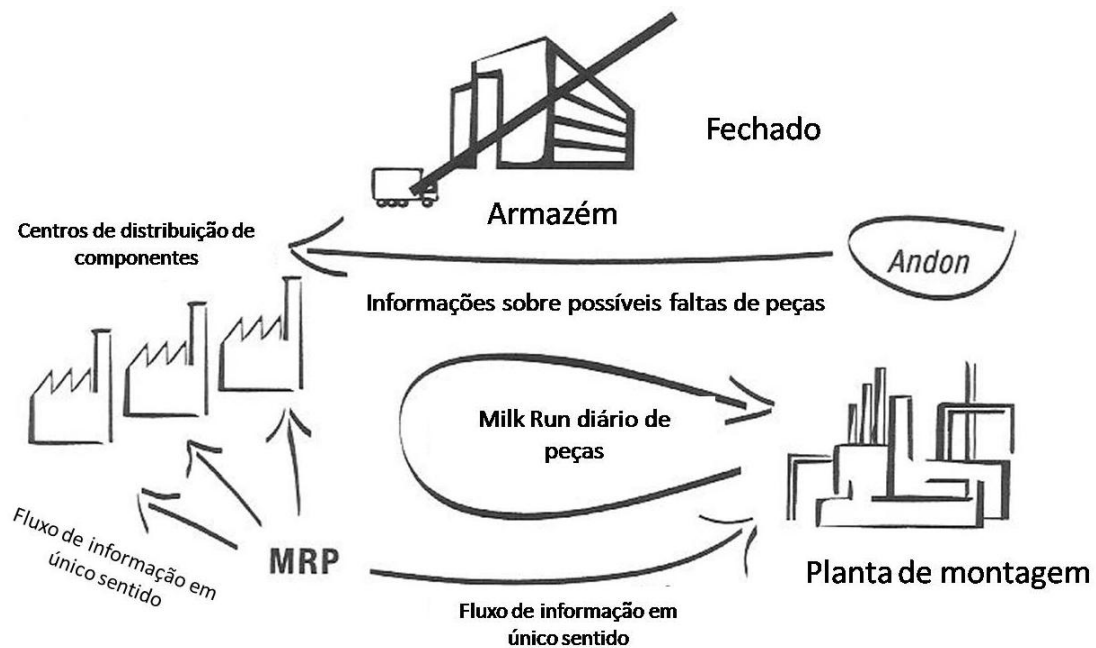


FIGURA 4 - MAPEAMENTO DO FLUXO DE VALOR DO ESTADO FUTURO
FONTE: Murman et al. (2002)

O autor afirma que, embora não exista uma ferramenta eleita como a melhor, as mais utilizadas são, o mapeamento de fluxo de valor (figuras 3 e 4) e a matriz de estrutura de projeto.

Apesar da elevada quantidade de material publicado acerca da abordagem enxuta, existem poucos relatos de implantações de práticas enxutas, bem como dos fatores que têm contribuição com a sua implantação. A maior parte dos artigos escritos a respeito deste assunto foca na relação entre a implantação da abordagem enxuta e os ganhos de produtividade obtidos.

Cua et al. (2001) se preocupou em identificar as diferenças entre plantas de alta e baixa produtividade, no que se refere à implantação de práticas *Just in time* (JIT), Gerenciamento Total da Qualidade (TQM) e Manutenção Preventiva Total (TPM) simultaneamente.

De acordo com o autor, “plantas de alta eficiência são dotadas de alto nível de implantação (tanto socialmente quanto tecnicamente orientadas) das técnicas TQM, JIT e TPM”. Além disso, o autor também percebeu que existem diferentes variantes de práticas que são as mais adequadas, para melhorar determinados aspectos da produtividade. No entanto, cada uma destas variantes consiste de ferramentas formadas pelas três práticas aplicadas sob a orientação social e técnica.

Shah e Ward (2003) também buscaram identificar fatores que proporcionam uma melhor implantação da abordagem enxuta. Os autores buscam levantar a relevância de três fatores contextuais para uma melhor implantação da abordagem enxuta: tamanho da planta, idade da planta e abrangência da sindicalização.

Os autores perceberam em seus estudos quatro fatores contextuais que influenciam o resultado da implantação da abordagem enxuta:

1. Plantas com maior nível de sindicalização apresentam maior resistência à implantação de práticas de manufatura de origem japonesas (JIT, entre outras), sobretudo nos Estados Unidos.
2. Quanto mais antiga a planta fabril, maior resistência à adoção de práticas enxutas.
3. Apesar da inércia natural a mudanças de toda empresa de grande porte, estas dispõem de recursos humanos e financeiros para viabilizar a implantação das práticas enxutas. Assim, quanto maior a planta, mais receptiva à implantação de práticas enxutas.
4. A aplicação de múltiplas práticas enxutas (JIT, TQM, Kaizen, etc.) produz impactos significativos na eficiência operacional.

Para Ward (2007), “a atividade primordial do processo de desenvolvimento de produtos é a entrega de novos e rentáveis fluxos de valor.” Com isso espera-se

criar valor sob o ponto de vista do cliente final, de forma mais acurada possível e, reduzir desperdícios que interfiram com o desenvolvimento do produto de acordo com o valor especificado.

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

Desenvolver produtos consiste em um conjunto de atividades por meio das quais se busca, a partir das necessidades do mercado e das possibilidades e restrições tecnológicas, e considerando as estratégias competitivas e de produto da empresa, chegar às especificações de projeto de um produto e de seu processo de produção, para que a manufatura seja capaz de produzi-lo. (ROZENFELD et al, 2006).

“Um processo de desenvolvimento de produtos é a seqüência de etapas ou atividades que uma empresa emprega a fim de conceber, projetar, e comercializar um produto” (ULRICH; EPPINGER, 2004).

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o Processo de Desenvolvimento de Produtos (PDP) situa-se na interface entre as empresas e o mercado, cabendo a ele identificar as necessidades de mercado e propor soluções que atendam a tais necessidades. O papel do PDP é o de identificar as necessidades de mercado e dos clientes em todas as fases do ciclo de vida do produto; identificar as possibilidades tecnológicas; desenvolver um produto que atenda às expectativas de mercado (em termos de qualidade); desenvolver um produto antes de seus concorrentes, e com custo competitivo. Além disso, o produto deve ter sua manufaturabilidade assegurada, de forma a evitar, sempre que possíveis investimentos em novas tecnologias de manufatura, atendendo restrições de custo e qualidade. Apesar de a competitividade da empresa em relação a seus concorrentes depender de aspectos como propaganda, qualidade da distribuição, pontualidade da entrega, etc., o processo de desenvolvimento de novos produtos é fator determinante para a satisfação do cliente e para a vantagem competitiva (CLARK; FUJIMOTO, 1991, apud PESSÔA, 2006).

De acordo com Ulrich e Eppinger (2004), olhando-se pela perspectiva dos investidores de uma empresa, “o sucesso do desenvolvimento de produtos é resultado de produtos que podem ser manufaturados e vendidos obtendo-se lucros”.

O autor relaciona ainda mais cinco dimensões relacionadas ao lucro utilizadas para auxiliar o desenvolvimento de novos produtos:

1. Qualidade do produto: quão bom é o produto resultado do esforço de um desenvolvimento? Satisfaz as necessidades dos consumidores? É robusto e confiável? Qualidade do produto se reflete ultimamente em sua participação de mercado e o preço pelos quais os consumidores estão dispostos a pagar pelo produto.
2. Custo do produto: Qual o custo de manufatura do produto? Este custo inclui investimentos em equipamentos e ferramentais bem como incremento de produção. Custo do produto determina qual o lucro da empresa para um determinado volume de vendas e um determinado preço de venda.
3. Tempo de desenvolvimento: Quão rápido o time de desenvolvimento completou o desenvolvimento? Tempo de desenvolvimento determina quão ágil a empresa pode ser em resposta a forças competitivas e a desenvolvimentos tecnológicos, bem como quão rapidamente a empresa recebe o retorno econômico do esforço dos times.
4. Custo de desenvolvimento: Quanto a empresa precisou investir para desenvolver o produto? Custo de desenvolvimento é normalmente uma fração significativa do investimento requerido a fim de atingir os lucros.
5. Capabilidade do desenvolvimento: A empresa e o time de desenvolvimento estão capazes de desenvolver produtos futuros como resultados de suas experiências com um projeto de desenvolvimento de produto? Capacidade de desenvolvimento é uma vantagem que a empresa pode usar para desenvolver produtos mais efetiva e economicamente no futuro.

De acordo com Ulrich e Eppinger (2003), um processo de desenvolvimento bem definido mostra-se útil pelas seguintes razões:

1. Garantia da qualidade: um processo de desenvolvimento especifica as fases pelas quais um projeto de desenvolvimento passará e seus pontos de verificação (também conhecido como *gate*) correspondentes pelo caminho. Quando estas fases e pontos de verificação são sabiamente escolhidos, o seguimento do processo de desenvolvimento é um caminho para assegurar a qualidade do produto resultante. Para Rozenfeld et al.

(2006), o que determina cada uma destas fases é a entrega de um conjunto de resultados (*deliverables*), que, juntos, determinam um novo patamar de evolução do projeto de desenvolvimento;

2. Coordenação: Um processo de desenvolvimento claramente articulado atua justamente como um plano mestre que define os papéis de cada ator no time de desenvolvimento. Este plano informa os membros do time serão necessários e com quem precisarão trocar informações e materiais;
3. Planejamento: Um processo de desenvolvimento contém *milestones* naturais correspondentes à conclusão de cada fase. O timing destes *milestones* suporta o cronograma de todo o desenvolvimento do projeto;
4. Gerenciamento: Um processo de desenvolvimento é um *benchmarking* para assessorar o desempenho do esforço de um desenvolvimento em andamento. O comparativo entre eventos atuais ao processo estabelecido, auxilia o gerente a identificar possíveis áreas com problemas;
5. Aperfeiçoamento: A cuidadosa documentação do processo de desenvolvimento de uma organização ajuda a identificar oportunidades de melhoria.

Significativos estudos analisando o desempenho de empresas de âmbito mundial, principalmente comparando as indústrias japonesas e norte-americanas, demonstraram que uma importante parcela da vantagem competitiva conseguida pela manufatura japonesa nas últimas décadas advém do modo como os produtos são desenvolvidos e aperfeiçoados. As indústrias norte-americanas e européias dos setores automotivos e eletrônicos de consumo têm incorporado muitos novos conhecimentos sobre gestão de PDP a partir de casos bem sucedidos de desenvolvimento de produtos em empresas japonesas.

2.2.1 Escolha de um Modelo PDP de Referência

Para Rozenfeld et al. (2006), muitas vezes, cada pessoa possui um entendimento próprio do processo de desenvolvimento de produtos e utiliza um vocabulário e formalismo para descrevê-lo, advindos de sua área específica.

O autor explica que os modelos de referência descrevem o processo de desenvolvimento de produto e servem de referência para que a empresa e seus profissionais possam desenvolver produtos segundo um ponto de vista comum.

Na literatura, diversos modelos de Processos de Desenvolvimento de Produto (PDP) podem ser encontrados, como por exemplo: Pahl e Beitz (1996), ilustrado na figura 5, que apresenta foco específico em características de projeto na área de engenharia. Neste modelo a fase conceitual não apresentava tantos detalhes, sendo necessária uma etapa intermediária entre a conceitual e a detalhada, denominada preliminar. Hoje em dia esta etapa não se faz necessária, graças aos avanços dos sistemas CAD, que permitem um maior nível de detalhamento já na etapa conceitual.

Foi um dos pioneiros a sistematizar o processo de desenvolvimento de novos produtos, tornando-se um clássico.

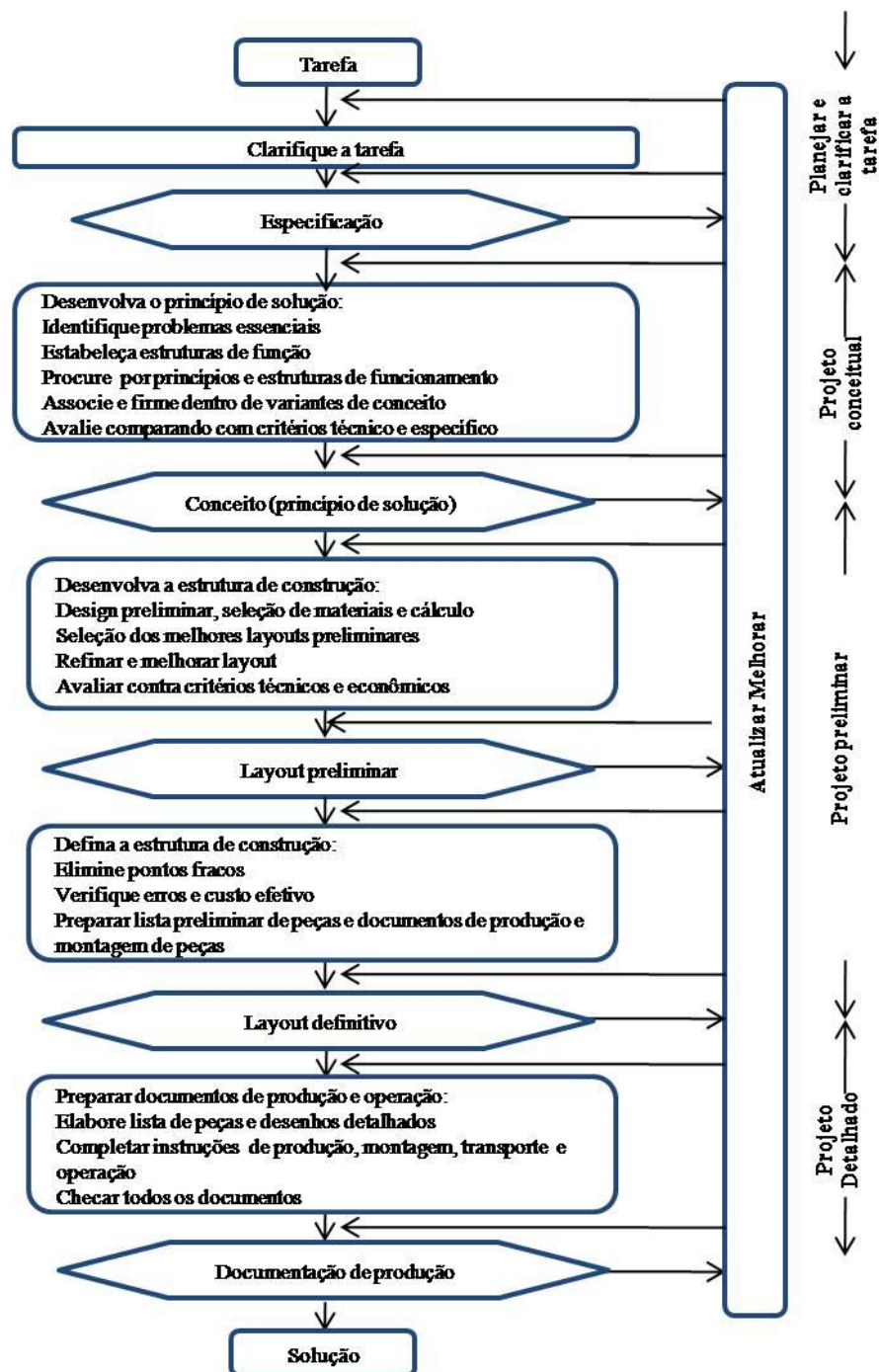


FIGURA 5 - MODELO DE PDP

FONTE: Pahl e Beitz (1996)

No entanto, sua aplicação em outros contextos não é tão fácil. Pode-se citar também Ulrich e Eppinger (2004), que apresentam um modelo genérico mais voltado para o *design* de produtos. Além destes, também pode-se citar Cho e Eppinger (2001) e Alliprandini e Toledo (2003), Clark e Fujimoto (1991, apud, Pessoa, 2006).

Na proposta de Clark e Fujimoto (1991, apud, Ferreira e Toledo, 2001) o PDP está dividido em cinco etapas: Geração e Escolha do Conceito do Produto, Planejamento do Produto, Engenharia do Produto e Testes, Engenharia do Processo e Produção Piloto.

Loureiro (1999, apud Pessoa, 2006) considera como parte integrante do escopo do processo de desenvolvimento, o produto em si e seus processos de ciclo de vida. De acordo com Pessoa (2006), o modelo proposto por Loureiro (1999, apud Pessoa, 2006), e ilustrado na figura 6, considera muitos interessados com diferentes requisitos, alguns dos quais podem ser comuns entre eles. Os requisitos são as entradas do PDP.

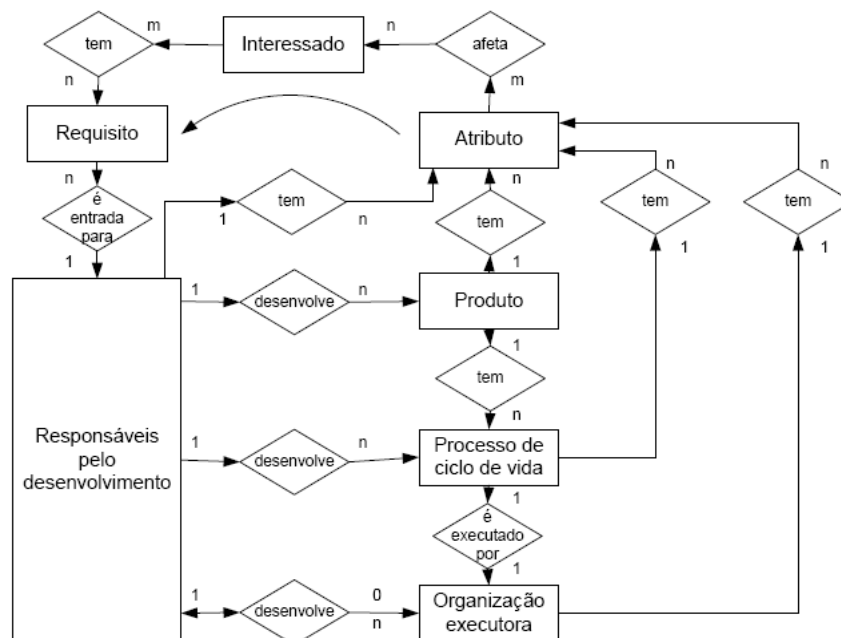


FIGURA 6 - MODELO PDP PARA O DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DE PRODUTOS COMPLEXOS

FONTE: Loureiro, 1999, apud Pessoa, 2006

Por ser um modelo de referência, que pode ser adequado ao desenvolvimento de qualquer produto e por abranger todo o ciclo de vida do produto, um dos modelos PDP mais difundidos, e escolhido como modelo de aplicação para este trabalho é o proposto por Rozenfeld et al. (2006) (ver figura 7).

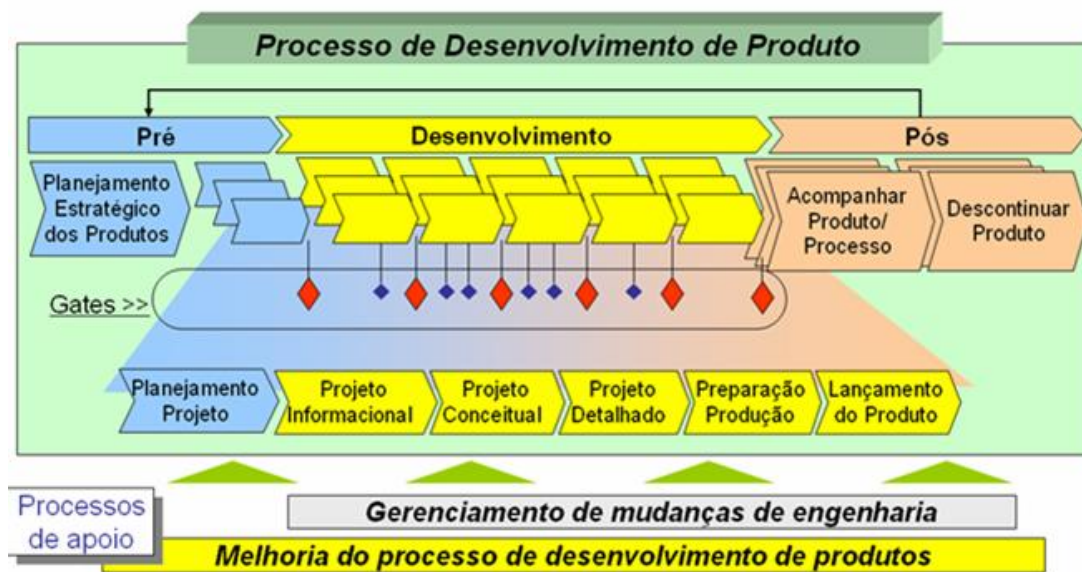


FIGURA 7 - MODELO PDP

FONTE: Rozenfeld et al.(2006)

- **Planejamento do Projeto** trata do desenvolvimento de um produto em particular do portfólio. Ele tem início assim que um projeto é formalmente iniciado. O escopo do produto e do projeto, recursos necessários, tempo e custos são definidos em detalhes. O Planejamento do Projeto irá produzir um plano detalhado com atividades, prazos, recursos necessários, riscos e uma primeira análise econômico-financeira do projeto;
- **Projeto Informacional** cria a partir do Planejamento do Projeto as especificações meta do produto a ser desenvolvido. Estas especificações são aquelas que se deseja obter no final das atividades de engenharia, composta pelos requisitos e informações qualitativas sobre o futuro produto. É na etapa de projeto informacional que se toma real conhecimento dos clientes envolvidos e seus requisitos. Requisitos estes que são traduzidos em grandezas relevantes, conhecidas como especificações meta do produto;
- **Projeto Conceitual:** Passada a etapa de coleta e transformação de informações, esclarecimento do problema do Projeto Informacional, chegar à etapa de buscar, criar, representar, e selecionar soluções para o problema do projeto. Apesar de livre de restrições, o processo de criação é direcionado pelas necessidades, requisitos e especificações de produto.

No início da fase de projeto conceitual, o produto é modelado funcionalmente e descrito em formas abstratas, independente de princípios físicos.

A etapa de projeto conceitual é importante, uma vez que nesta etapa se definem as funções do produto com base nas especificações meta do produto em desenvolvimento. Nesta etapa são também desenvolvidos princípios de solução para as funções definidas.

A análise de valor tem como objetivo a melhoria do produto, diminuindo custo sem reduzir qualidade, buscando agregar ao produto somente aquilo que é percebido pelo cliente. Com isso evita-se desperdício. O método inicia com a escolha do produto a ser analisado e a formação de uma equipe. Depois, são coletadas as informações gerais da situação do produto e os custos envolvidos. Identificada a função de cada parte do produto e seu valor, buscam-se soluções que venham a reduzir os custos, através de questionamentos.

Uma forma de se reduzir o custo de um produto é identificar e eliminar, ainda na fase de concepção, componentes que não necessariamente agreguem valor ao produto, gerando desperdícios na etapa de fabricação. Isto pode ser conseguido através da concepção de componentes alternativos que eliminem operações indesejáveis.

Durante esta etapa a arquitetura básica do produto é definida, e este é o momento de orientar o desenvolvimento do produto de forma a reduzir o número de componentes a serem montados, enxugando o processo de fabricação.

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), a arquitetura de um produto “é o esquema pelo qual os elementos funcionais do produto são arranjados em partes físicas e como essas partes interagem por meio de interfaces”. Decisões sobre essa arquitetura influenciarão no gerenciamento e organização do esforço de desenvolvimento, pois possibilitarão que sejam designadas atividades de projeto e testes destas partes para equipes, indivíduos ou fornecedores, de modo que o desenvolvimento de diferentes porções do produto ocorra simultaneamente.

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), arquitetura de um produto pode ser classificada em “modular e integral”.

Dentro da arquitetura modular, cada módulo é responsável por uma função do produto e as interações entre os módulos são bem definidas. Este tipo de arquitetura permite modificações de produto através da modificação de um ou mais módulos, não sendo necessárias modificações em outros módulos.

No contexto de arquitetura, o termo associa-se a uma construção que utiliza componentes padronizados. No contexto de manufatura, o termo refere-se ao uso de unidades intercambiáveis, para criar uma variedade de produtos.

Uma boa definição das funções do produto, baseada em análise de valor e de arquiteturas, é a base para o desenvolvimento de soluções enxutas na fase de projeto detalhado.

Andrade e Forcellini (2004) afirmam que “nesta fase são executados cerca de 20% do trabalho do projeto e estes definem 80% do seu custo”. Razão pela qual esta fase requer especial atenção, uma vez que possíveis soluções estão sendo sugeridas.

Projeto Detalhado, segundo Rozenfeld et al. (2006):

Na fase de projeto conceitual, normalmente, são realizados desdobramentos sucessivos dos sistemas em subsistemas, depois em componentes, os quais são associados aos processos de fabricação, documentados no plano de processo macro, a partir da análise dos requisitos dos clientes.

Este processo é conhecido como processo *top down*.

De acordo com o autor, por sua vez, no projeto detalhado, o processo ocorre de maneira inversa, denominado *bottom up*, onde os componentes, subsistemas, sistemas, são integrados sucessivamente, até que se chegue ao produto final. A concepção é complementada com outros detalhamentos, oriundos do projeto conceitual, a fim de se obter um produto integrado, contendo as tolerâncias de seus parâmetros e especificações críticas, dentro de uma faixa de valores que atenda aos requisitos dos clientes e suas especificações meta.

Para Raeder e Forcellini (2007), é nesta etapa que a melhor arquitetura é escolhida e todas as especificações de produto são definidas com a ajuda de diretrizes de suporte ao PDP.

Pessôa (2006) afirma que:

de acordo com os princípios da engenharia simultânea, quando um produto é concebido ele restringe os seus processos de ciclo de vida e a organização que executa estes processos. Para evitar mudanças custosas, em estágios avançados do desenvolvimento, os requisitos nestas dimensões devem ser considerados desde os estágios iniciais.

Para o autor ainda, “O objetivo do PDP, portanto, vai além de desenvolver um produto (muitas vezes em si complexo), mas deve definir os processos de ciclo de vida deste produto e a organização associada”.

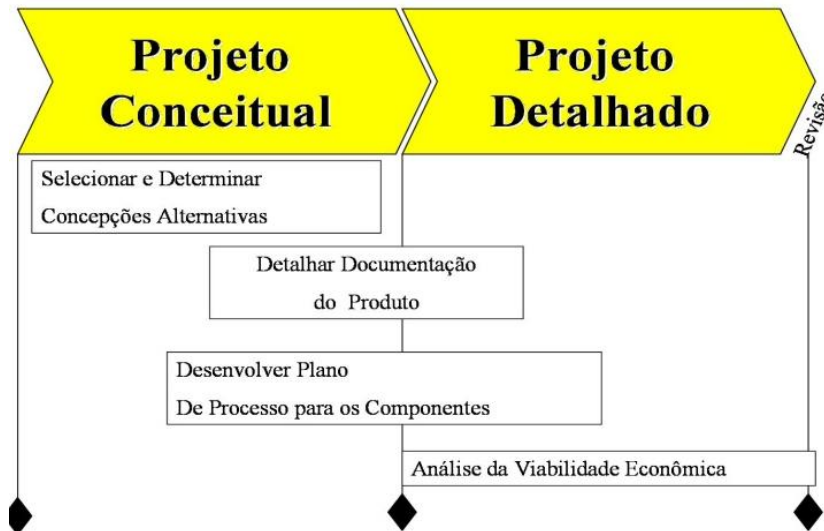


FIGURA 8 - SOBREPOSIÇÃO DE ATIVIDADES NO PDP

FONTE: Rozenfeld et al (2006)

Este estudo tem como foco principal as fases de Projeto Conceitual e Detalhado, em destaque na figura 8. Para Rozenfeld et al. (2006), parte das atividades de projeto detalhado inicia durante a fase de projeto conceitual. De acordo com o autor, isto é possível pelo fato de o novo produto reutilizar um conjunto grande de peças do produto anterior.

2.2.2 Criação de Valor a Partir do PDP

Para Morgan e Liker (2006), a criação de valor ou desperdício no PDP pode ocorrer em duas circunstâncias:

- Desenvolvimento de produtos que atendam ou não às expectativas dos clientes (sem esquecer os *stakeholders*);
- Nas etapas seguidas pelo processo de desenvolvimento.

Este trabalho foca na primeira situação. Pois, como foi possível observar nos capítulos anteriores, o correto entendimento e tradução dos desejos de todos *stakeholders* e clientes, não somente aumenta a chance de se obter uma produção puxada pelo cliente, minimizando a necessidade de se recorrer a promoções para que os produtos sejam empurrados, mas também ajuda a reduzir desperdícios indesejados por *stakeholders* importantes na organização, e também a reduzir custos operacionais.

Uma forma simples de se reduzir o custo de manufatura e agregar valor à etapa de montagem é a redução do número de variantes. No entanto, como observam Morgan e Liker (2006), excesso de padronizações pode levar ao desenvolvimento de produtos pobres e sem inspiração. Para os autores, um desenvolvimento enxuto de produtos deve balancear qualidade, velocidade e custos reduzidos decorrentes da padronização de componentes, sem perder a atratividade e excitação.

O estudo de Morgan e Liker (2006) mostrou que a abordagem baseada em plataformas, a padronização de componentes e a velocidade do processo de desenvolvimento da Toyota, permitem uma elevada inserção de tecnologia em seus veículos. Caso uma nova tecnologia não esteja devidamente testada em tempo de ser aplicada no protótipo de um determinado modelo, esta possivelmente poderá ser introduzida no próximo programa, dada à quantidade de modelos em desenvolvimento.

Como será abordado mais adiante, um dos pilares que sustentam processo de desenvolvimento da Toyota é desenvolvimento suportado por múltiplas alternativas. Com isso mais de uma solução de projeto pode ser explorada simultaneamente, permitindo que definições críticas (dimensionais e tolerâncias), possam ser definidas em uma etapa posterior, se comparada aos cronogramas tradicionais, sem aumentar o tempo total de desenvolvimento.

2.2.3 Desenvolvimentos que Geram Desperdícios

Várias operações durante a manufatura poderiam ser evitadas, se a filosofia enxuta fosse devidamente aplicada na forma de diretrizes, na etapa de desenvolvimento.

A figura 9 ilustra dois exemplos de economia de material que geram uma série de desperdícios na linha de montagem, tais como:

- Espaço para armazenamento de mais uma peça (*part number*) na linha de montagem;
- Perda de tempo buscando e identificando a peça correta;
- Aumento de custos de fabricação da peça (moldes, etc.);
- Maior incidência de defeitos devidos a problemas de qualidade de peças.



FIGURA 9 - DESPERDÍCIOS DECORRENTES DE PROJETO QUE VISA REDUÇÃO DE CUSTOS DE MATERIAL

Além dos desperdícios ilustrados, podemos ainda citar a grande variedade de torques próximos aplicados em parafusos com dimensional e passos de rosca idênticos, gerando a necessidade de aquisição de elevado número de parafusadeiras e desenvolvimento de sistemas *poka-yokes* para evitar que os operadores apliquem o torque errado.

Também podemos citar a elevada quantidade de parafusos semelhantes, com aplicações semelhantes, quando poderiam ser facilmente unificados, reduzindo drasticamente o inventário de borda de linha, a quantidade de parafusadeiras e especificação de torques diferentes.

2.2.4 Novas Fronteiras do Desenvolvimento de Produtos

Desde 1987, o termo “desenvolvimento integrado” tem sido ligado a outras palavras, como produto, processo e organização, os quais aumentam o escopo do processo de desenvolvimento (LOUREIRO, 1999, apud Pessôa, 2006).

Tamanha é a importância e necessidade de se obter um processo de desenvolvimento que interaja com todos os envolvidos, que em 1995, o Departamento de Defesa Americano (*USA Department of Defense – DoD*) criou o Desenvolvimento Integrado do Produto e do Processo (*Integrated Product and Process Development – IPPD*), com a finalidade de obter uma metodologia compreensível, estruturada, integrada e disciplinada para grandes programas de aquisição de bens e serviços (DoD - INTEGRATED PRODUCT AND PROCESS DEVELOPMENT, 1998).

A busca por modelos de processos de desenvolvimento eficientes, que atendam as mais variadas necessidades, de forma a diminuir o tempo de entrega do produto ou serviço e superando as expectativas de seus clientes, tem oferecido cada vez mais subsídios para o aperfeiçoamento de metodologias de desenvolvimento integrado de produtos, de forma a buscar a participação de todos os impactados, durante o processo de desenvolvimento.

Dessa forma, o levantamento do Estado da Arte do Processo de Desenvolvimento de Produtos, de certa forma, buscou pelos mais recentes estudos voltados para estas necessidades.

2.2.4.1 O Processo de Desenvolvimento de Produtos Inserido no Contexto Enxuto

O sistema de produção em massa tem como característica uma separação entre as áreas de desenvolvimento de produto e processo de fabricação, havendo pouca ou nenhuma comunicação entre as mesmas durante o período de concepção do produto.

Womack e Jones (2004), ao visitarem empresas européias de alta qualidade, mas baixa produtividade, detectaram uma razão básica para a baixa produtividade e alto custo de fabricação:

A convicção generalizada, entre gerentes e trabalhadores, de serem artesãos. Ao final da linha de montagem havia uma grande área de reparos com técnicos de grande nível de conhecimento. A causa constatada: incapacidade de projetar peças de fácil montagem, e dificuldade de relacionar os defeitos às derradeiras causas assim que descobertos, de modo a nunca se repetirem.

Para Battaglia et al. (2005), cada vez mais empresas buscam na filosofia enxuta um novo paradigma para nortear suas operações em direção a uma redução de custos de modo a torná-la competitiva, focalizando essencialmente em seus processos de manufatura. Para o autor, grande parte do sucesso atribuído ao Sistema de Produção Toyota, tem sua origem em fases anteriores à produção em si.

Para Morgan e Liker (2006), o Processo de Desenvolvimento Enxuto de Produtos (*lean product development*) pode ser descrito como um conjunto de ferramentas (e.g., *kanban*, *andon*³, *poka yoke*⁴) que eliminam desperdícios e criam fluxo de informações através da transformação de processos, da mesma forma que a Manufatura Enxuta.

Para o autor, empresas orientadas para o consumidor final (como as indústrias automotivas) precisam, cada vez mais, buscar atender às suas necessidades, acelerando o processo de desenvolvimento e lhes oferecendo os produtos que eles querem, no momento em que eles querem. Além disso, a diminuição do tempo de desenvolvimento de tecnologias, combinado com uma explosão de características inovadoras, pressionam ainda mais o prazo de desenvolvimento de novos veículos.

Além de uma diminuição no tempo e custo total de desenvolvimento de novos produtos, produtos que tenham mais valor agregado tendem a contribuir positivamente com a eliminação de desperdícios durante a etapa de manufatura. Para Morgan e Liker (2006), o aumento da complexidade dos automóveis modernos, entre outros, faz com que o processo de desenvolvimento se torne um diferencial

³ Painel indicador de parada de linha. Disponível em: <http://www.Enxuta.org.br/bases.php?&interno=artigo_36>. Acesso em: 16 novembro 2008.

⁴ Dispositivos destinados a impedir a ocorrência de defeitos na produção. (ELIAS; MAGALHÃES, 2003)

estratégico maior do que a capacidade produtiva. Para o autor, existe muito mais oportunidade para uma vantagem competitiva na etapa de desenvolvimento do que em qualquer outra.

De fato, um maior investimento na etapa de desenvolvimento, quer financeiro, quer com o uso de recursos (pessoas, informática, simulações), resulta em uma redução automática de custos de fabricação, que se torna ainda mais interessante quando se trata de grandes volumes produzidos.

Enquanto um sistema de produção robusto pode garantir a qualidade e produtividade, o processo de desenvolvimento tem maiores chances de melhor agregar valor ao produto, de acordo com a expectativa do cliente, bem como impactar os custos de investimento e variáveis de manufatura do veículo. Além disso, a etapa de processos de manufatura não tem grande influência para reduzir o tempo de desenvolvimento, principalmente pelo fato de aproximadamente 60% do veículo ser produzido por fornecedores.

O que se pode perceber com os mais recentes estudos, é que um processo de desenvolvimento enxuto, além de eliminar desperdícios inerentes ao próprio processo de desenvolvimento, contribui também para uma melhor definição de valor e do fluxo de valor, evitando assim que desperdícios sejam gerados na etapa de manufatura, em decorrência do processo de desenvolvimento.

Morgan e Liker (2006) utilizam um modelo de sistema sócio-técnico para descrever o sistema de PDP da Toyota que contém três subsistemas primários: 1) processo; 2) pessoas, e 3) ferramentas e tecnologias. De acordo com o autor, em um modelo de sistema de processo de desenvolvimento enxuto, estes três subsistemas encontram-se inter-relacionados e interdependentes, afetando a habilidade da organização conseguir seu propósito externo (ver figura 10).

Na figura 10 foram relacionados os treze princípios que suportam cada um dos subsistemas do Modelo de Sistema de Desenvolvimento Enxuto. Destes treze princípios, destacam-se cinco que apresentam maior relevância para o presente trabalho:

- Princípio 1: estabeleça o valor definido pelo cliente a fim de separar valor agregado do desperdício. O consumidor sempre é o ponto de partida em um sistema enxuto. Assim, a definição dos valores sob o ponto de vista do consumidor é o ponto de partida para se identificar desperdícios;

- Princípio 2: invista no processo de desenvolvimento, a fim de explorar alternativas de soluções enquanto o espaço para tal é máximo. Este princípio reforça a importância de se fazer uso da etapa de desenvolvimento, para se explorar alternativas. Ao explorar múltiplas alternativas maiores são as chances de se encontrar uma solução ótima;
- Princípio 4: crie uma padronização rigorosa, a fim de reduzir as variações, criar flexibilidade e resultados previsíveis. De acordo com Morgan e Liker (2006), é possível obter altos níveis de flexibilidade através da padronização de atividades de nível mais baixo, lançando mão de arquiteturas comuns, modularizações e processos de manufatura padronizados. Com isso pode-se conseguir um elevado nível de padronizações, sem sacrifício da criatividade;
- Princípio 9: promova o aprendizado e a melhoria contínua. A habilidade de aprender e melhorar talvez seja uma das vantagens competitivas mais sustentáveis, por permitir um processo de melhoria contínua;
- Princípio 13: use ferramentas poderosas para padronização e aprendizado organizacional. Segundo Morgan e Liker (2006), “a melhoria contínua só é conseguida através do aprendizado padronizado”. De fato, a padronização permite uma difusão homogênea e periódica de informações.

Todos os treze princípios suportam a criação de produtos que contribuam com a implantação da abordagem enxuta. No entanto, entende-se que os cinco princípios destacados estão mais fortemente relacionados com este propósito. Os demais princípios contribuem indiretamente, por melhorarem o processo de desenvolvimento como um todo.

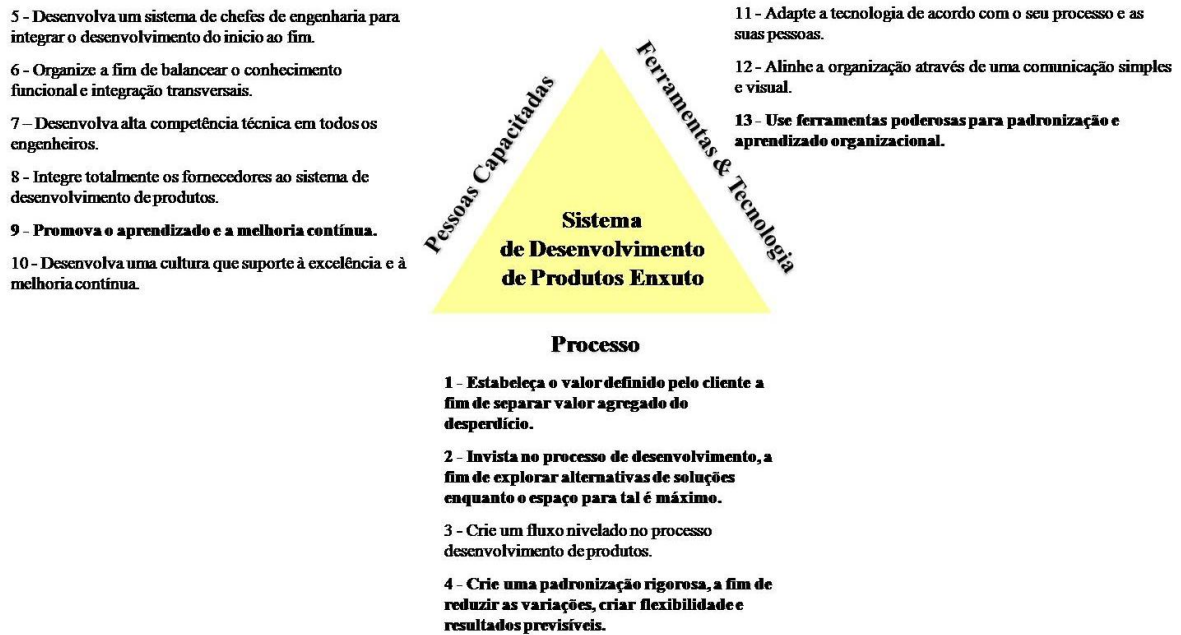


FIGURA 10 - MODELO DE PDP ENXUTO E SEUS 13 PRINCÍPIOS.

FONTE: Morgan e Liker (2006)

2.2.4.2 Bases do Sistema de Desenvolvimento Enxuto

De acordo com Womack et al. (2004), o processo de desenvolvimento enxuto apresenta quatro características básicas:

a) Liderança

Conforme observou o autor, o elemento incumbido de encabeçar um projeto é um variante do *shusa*. O *shusa* é um grande chefe, de maneira que em grandes companhias enxutas, esta posição trás consigo poder, sendo cobiçada. Ao contrário da sistemática adotada pela manufatura enxuta, empresas de produção em massa têm em seu líder de projeto um coordenador, muitas vezes incumbido de grande responsabilidade e pouco poder.

b) Trabalho em equipe

De acordo com o autor, no projeto enxuto, o líder reúne uma pequena equipe, alocada a um projeto de desenvolvimento por toda sua duração. Estes elementos vieram de diversos departamentos funcionais da empresa. Eles conservam vínculos com seus respectivos departamentos funcionais, mas enquanto dura o projeto, permanecem sob o comando do líder de projeto. Nas empresas de

projeto em massa, um projeto é composto de recursos, incluído o líder, emprestado por curtos períodos de tempo de seus departamentos funcionais. Com isso, o próprio projeto transita entre os diversos departamentos funcionais, conforme a etapa do mesmo. Outro fator importante é que o reconhecimento que permite uma ascensão vertical dentro de seu departamento está diretamente vinculado ao sucesso obtido em suas atividades funcionais, e não necessariamente àquelas vinculadas ao projeto.

c) Comunicação

Enquanto membros de equipes norte americanas relutam grandemente em enfrentar conflitos diretamente, tornando seus compromissos com o conjunto de decisões sobre o projeto, vagos, seus colegas japoneses, por sua vez, assinam compromissos formais que de que seguirão exatamente o consenso do grupo. Desta forma, conflitos envolvendo recursos e prioridades ocorrem no início e não no final do projeto. Com isso resulta uma diferença na distribuição cronológica de trabalho dedicado ao projeto. Em projetos enxutos, o número de pessoas envolvidas é mais elevado no início, estando presentes todas as especialidades. Este número diminui na medida em que o projeto avança, uma vez que as maiores dificuldades são superadas nas etapas iniciais. No sistema de projeto em massa, o que ocorre é justamente o contrário.

d) Desenvolvimento simultâneo

No sistema de produção em massa, normalmente as atividades de projeto são desenvolvidas de maneira seqüencial, de forma que cada atividade é iniciada quando sua atividade predecessora termina. Ao contrário, no sistema de produção enxuto, atividades que podem ser desenvolvidas em paralelo, são assim feitas, de forma a reduzir tempo de desenvolvimento, principalmente às ligadas ao processo. Outra virtude dessa metodologia é a antecipação de restrições ou erros de projeto, evitando os chamados *loopings* de desenvolvimento, necessários quando se percebe uma falha de desenvolvimento em uma das etapas posteriores do projeto. Esse processo, no entanto, requer uma capacidade de previsão.

O desenvolvimento simultâneo de produtos também é conhecido por Engenharia Simultânea e será visto de forma mais aprofundada em um capítulo à parte.

2.2.4.3 Engenharia Simultânea Baseada em Conjuntos de Alternativas (*Set Based Concurrent Engineering*)

Ao observar o modelo de PDP de referência adotado, é fácil perceber que uma certa sobreposição entre as etapas de projeto conceitual e detalhado pode e deve ocorrer, de forma que suas atividades se entrelacem. Assim, um conjunto de princípios que suporte o desenvolvimento de produtos deve se situar nesta faixa, tendo sua aplicação mais eficaz dentro do projeto detalhado, uma vez que é onde o projeto do produto tem soluções e componentes definidos.

Como o objetivo deste trabalho está relacionado com o desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades da manufatura, é apropriado explorar o desenvolvimento de múltiplas soluções que confrontadas com restrições de suas áreas clientes (manufatura, qualidade, etc.), possam ser eliminadas gradativamente, de forma criteriosa, até que restem as que apresentem maiores potenciais de sucesso.

Em seu estudo, Sobek e Ward (1996) perceberam que a Toyota não é adepta das técnicas normalmente consideradas essenciais para o sucesso do desenvolvimento de um novo produto (leia-se QFD, e *Taguchi*, entre outras). No entanto o maior contraste é percebido quanto à forma de escolher a melhor de uma série de soluções. De acordo com os autores, a Toyota suporta seu desenvolvimento em um conjunto de alternativas baseadas na Engenharia Simultânea (Ward et al., 1995, apud Sobek e Ward 1996). De acordo com Sobek e Ward (1996), os integrantes do projeto escolhem “a melhor alternativa através de argumentos, desenvolvimento e comunicação acerca de um conjunto de possíveis soluções, dispostas de forma paralela e independente”. Na medida em que o projeto avança, este conjunto de possíveis soluções reduz com base em informações adquiridas no decorrer do desenvolvimento, tais como testes, retorno de fabricantes e outros participantes.

Num primeiro momento esta prática parece resultar em desperdício, uma vez que se desenvolve um grande número de protótipos alternativos. No entanto ao observar o processo de desenvolvimento americano, verificou-se que neste caso o projeto invariavelmente passava por modificações principalmente na época de lançamento.

Outro diferencial do sistema de desenvolvimento da Toyota é o fato de existirem três centros de desenvolvimento com uma estrutura matricial, em que Gerentes Gerais comandam organizações funcionais em que Engenheiros Chefes comandam programas de desenvolvimento de veículos. Estes últimos por sua vez são os responsáveis pelas mais importantes decisões técnicas tomadas pela equipe de desenvolvimento. Cada Engenheiro Chefe é totalmente responsável pelo desenvolvimento de seu veículo, desde as etapas iniciais de projeto até as primeiras campanhas publicitárias. Fora de seu pequeno staff, eles não têm autoridade direta sobre engenheiros funcionais.

Tal sistemática parte do princípio de que é preferível trabalhar com um conjunto de idéias do que com uma idéia de cada vez. Com base em análises e julgamentos, engenheiros escolhem as idéias mais promissoras e as desenvolvem, para então fazerem as modificações até que uma solução satisfatória surja.

Dentro do processo de desenvolvimento, cada área determina regiões viáveis de acordo com suas perspectivas, de maneira paralela e relativamente independente, bem como determinam as restrições baseadas em experiências passadas. Estas áreas então geram e exploram alternativas que eliminem as restrições previamente estabelecidas e alcancem os objetivos determinados.

Durante o desenvolvimento de novos produtos, engenheiros da Toyota exploram trocas de conhecimento através de projetos e protótipos ou simulações. As decisões são tomadas com base em informações confiáveis. O desenvolvimento de múltiplas soluções é uma prática comum entre os engenheiros da Toyota, uma vez que dessa forma se ganha o tempo que seria gasto retornando os passos necessários para desenvolver uma nova solução, caso a anterior não seja adequada.

O processo de tomada de decisão se dá de forma que o conjunto de possíveis soluções diminua gradativamente, eliminando possibilidades até que reste uma única solução. Além disso, durante o desenvolvimento de produtos estratégicos costuma-se quebrar o problema em pedaços gerenciáveis. Para cada pedaço a equipe desenvolve múltiplas alternativas, sendo que uma destas deve ser uma alternativa conservadora. Estas soluções são então modularizadas, de forma que todas as soluções de um problema funcionarão com alguma solução de outro problema. Desta forma é possível saber se as soluções mais radicais podem ou não ser utilizadas.

2.2.4.4 Fluxo Enxuto no PDP

Em seu estudo, Bjarnoe (2006) verificou a aplicação da abordagem enxuta durante o processo de desenvolvimento do avião americano – P-51 *Mustang*, em plena Segunda Guerra Mundial. Diante da necessidade de escoltar bombardeiros em viagens de longa distância, o Ministério da Guerra Inglês solicitou o desenvolvimento de um avião que tivesse alta autonomia, capacidade de ataque a alvos em terra e ar, além de desenvoltura em baixas e altas altitudes. Em apenas 117 dias, já existia um protótipo do que seria um dos melhores caças de toda a Segunda Guerra.

De acordo com Bjarnoe (2006), isto só foi possível graças a um processo de desenvolvimento inédito até aquele momento, baseado na modularização. Esta metodologia permitiu que diferentes etapas desvinculadas pudessem ser conduzidas paralelamente, absorvendo do tempo total, o tempo gasto com interações. Além da utilização da Engenharia Simultânea, os engenheiros americanos lançaram mão do uso de um conjunto de alternativas para cada etapa do PDP – *set based design*.

De acordo com o autor, a manufatura trabalha com cinco parâmetros de eficiência: qualidade, custo, prazo, flexibilidade e dependabilidade. Enquanto isso, o PDP tem seu foco voltado para a criação de valor no tempo e o conceito de valor é mais amplo, abrangendo inclusive aspectos estéticos.

Para Bjarnoe (2006), enquanto para a manufatura a criação de valor se dá através da facilidade de repetir, no PDP a criação de valor se dá na variação. Além disso, para a manufatura é interessante que os processos transcorram de forma linear, enquanto que no PDP a criação de valor se dá através de interações e recirculações. A tabela 1 relaciona as principais diferenças entre criação de valor na Manufatura e no PDP.

Produção	PDP
Foco no custo	Foco na redução de tempo
Processos repetitivos	Processos não repetitivos
Evitar desperdício de tempo e materiais	Evitar desperdícios de oportunidades
Processos Lineares	Processos não lineares
5 dimensões de eficiência	Influências radicais (design)
	Amplo conceito de valor

QUADRO 1 - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE PDP E PRODUÇÃO

FONTE: Bjarnoe (2006)

2.2.5 Desperdícios Ocorridos Durante o PDP

Uma parcela significativa de desperdícios ocorridos durante a etapa de manufatura, causados pelo desenvolvimento de produtos, tem sua origem em um processo de desenvolvimento de produtos ineficiente.

Além dos sete desperdícios encontrados na manufatura, descritos por Liker (2004) entre outros, Bauch (2004) identificou mais três tipos de desperdícios também ocorridos durante o processo de desenvolvimento de produtos.

De acordo com Bauch (2004), a principal diferença entre os desperdícios ocorridos na manufatura e os ocorridos em processos de PDP se deve ao fato de na manufatura ocorrer, basicamente, um fluxo de materiais, e durante o PDP, ocorrer um fluxo de informações. Em seu trabalho, Bauch relacionou dez categorias de desperdícios ocorridos com maior frequência durante o PDP. Destes, sete são os desperdícios comuns com os ocorridos na etapa de manufatura, identificados por Liker (2004), entre outros. Além destes sete, Bauch (2004), relacionou três categorias de desperdícios: reinvenção, falta de disciplina sistemática e recursos de informática limitados.

Na seqüência, estas dez categorias de desperdícios serão detalhadas na forma de alíneas:

a) Espera

Na etapa de manufatura desperdício causado pela espera é a diferença entre o tempo total de processamento dos materiais e o tempo gasto para criação efetiva de valor. O tempo em que não houve criação efetiva de valor e

conseqüentemente não houve um fluxo de valor porque o mesmo encontrava-se estático, é um tempo desperdiçado, independentemente de o valor considerado ser um produto em processo de fabricação (fluxo de materiais) ou em processo de desenvolvimento (fluxo de informações).

Na etapa de manufatura, este tempo pode ser gasto com paradas de manutenções corretivas não planejadas, tempo de espera entre processos, diferença de tempos de processos de fabricação (desbalanceamento), traslado de materiais, etc.

Na etapa de PDP, este tempo pode ser gasto na espera por informações devido à falta de recursos humanos suficientes para realização de tarefas, falta de recursos físicos (equipamentos de informática), etc.

b) Transporte e Transferência de Responsabilidades

Durante o traslado e manipulação de materiais em processo nenhum valor é agregado ao produto, mas são muitas vezes necessários por serem uma das atividades básicas a fim de permitir o fluxo de material ou informação.

No caso da manufatura, restrições de concepção de instalações industriais, de processo e de concepção de produto, têm grande influencia na quantidade de movimentações necessárias para que o valor flua.

Durante o processo de desenvolvimento o excesso de movimentações desnecessárias de informações, bem como o excesso de pessoas responsáveis por diferentes níveis de evolução, ou áreas do processo de desenvolvimento contribui significativamente para este tipo de desperdício. Além do desperdício do excesso de manuseio de informação, existe também o risco de perda de informação e de um desenvolvimento sujeito a falhas, uma vez que dificilmente enxerga-se todo o processo.

c) Movimento

Para Liker (2004), na etapa de Manufatura, sempre que um operador fizer um movimento considerado inútil do ponto de vista da criação de valor (caminhar, procurar, pegar, empilhar, etc.) e que poderia ser evitado com um processo mais robusto, desperdício ocorre por movimento.

Na etapa de desenvolvimento, sempre que alguém deixa de ter acesso direto a alguma informação ou sistema. Muitas vezes a informação necessária encontra-se disponível, porém não é de fácil acesso.

d) Superprocessamento

Para Liker (2004), este desperdício é fruto de passos desnecessários para processar o produto ou seus componentes. Também contribuem para este desperdício, processamentos ineficientes devido a ferramentas ou processos de baixa qualidade, uma vez que sua baixa eficiência gera a necessidade de se empregar um esforço maior do que o necessário para a realização da tarefa.

De acordo com Liker (2004) e Bauch (2004), este desperdício também pode ter como causa o desenvolvimento de produtos, uma vez que se o mesmo não for robusto suficiente pode gerar desperdícios por movimentos desnecessários para fabricar componentes que não agregam valor. Por outro lado, a definição de parâmetros dimensionais e de qualidade demasiadamente exigente poderá gerar defeitos (pelo descumprimento das exigências de projeto) além de um excesso de qualidade que não é necessariamente convertido em valor do ponto de vista do cliente.

De acordo com Bauch (2004), produtos com níveis excessivos de recursos (mais do que o cliente necessita e tem condições de utilizar), detalhamento excessivo de projeto e de precisão também são caracterizados como superprocessamento. O autor também relaciona este desperdício com a necessidade excessiva de etapas probatórias, mudanças de níveis de projeto (reuniões de aprovação, negociações, etc.). Definições inapropriadas de ferramentas e métodos de projeto, tais como softwares e ferramentas específicos, ao invés dos padronizados, requerem constantes conversões, a fim de que todos os envolvidos tenham condições de agregar valor.

e) Estoque

De acordo com Liker (2004), na etapa de manufatura, os excessos de matéria prima, de estoque em processo ou de produtos acabados, causam lead times mais longos, obsolescência, produtos danificados, custos de transporte e de armazenagem e atrasos. Além disso, o estoque extra oculta problemas, como desbalanceamento de produção, entregas atrasadas dos fornecedores, defeitos, equipamentos em conserto e longo tempo de *set-up* (preparação).

De acordo com Bauch (2004), estoques, além de não agregarem valor, mantêm grande capital parado e consomem recursos.

Para Bauch (2004), enquanto na etapa de manufatura o problema do estoque praticamente se refere às excessivas e desnecessárias quantidades de

materiais esperando para serem utilizados, na etapa de desenvolvimento referem-se à grandes quantidades de informações armazenadas em computadores e arquivos, aguardando que algum departamento funcional os processe.

De acordo com Bauch (2004), estas informações armazenadas podem causar outros desperdícios, como o tempo e esforço gastos com a busca destas informações.

Para Bauch (2004), equipamentos e protótipos de testes que nem sempre são necessários, também acabam estocados, quando muitas vezes tais atividades não necessitariam ser realizadas na própria empresa.

Utilização de recursos além de sua capacidade pode provocar gargalos de processamento de informações e filas de espera por informações. Enquanto na manufatura a taxa de utilização ideal se situa entre 85 e 90%, é comum encontrar taxas de utilização superiores a 100% em processos administrativos, devido a múltiplos projetos administrados por equipes funcionais. Como resultado obtém-se entrega de resultados de baixa qualidade (erros), descumprimento de prazos, e estoque de informações aguardando processamento.

Além disso, para Bauch (2004), quando uma grande quantidade de informação é transmitida de um departamento funcional para outro, e se este último tiver uma capacidade menor que o anterior, pode ocorrer um acúmulo de informação em processo.

f) Superprodução

Para Liker (2004), a produção de itens para os quais não existe demanda, gera perda com excesso de pessoal e de estoque e com os custos de transporte devido ao estoque excessivo. Conforme foi colocado anteriormente, uma das razões para que isto ocorra é o desbalanceamento entre etapas de processos de fabricação.

Para Bauch (2004), o mesmo ocorre em processos de desenvolvimento que não tenham uma boa sincronia entre os diferentes departamentos e etapas do processo. Para o autor isto é aplicável tanto para a etapa de planejamento com para a etapa de execução do projeto.

Algumas causas da superprodução e descentralização é a repetição de tarefas entre departamentos, sem que haja necessariamente acréscimo de valor, sem que haja uma diferença perceptível entre as atividades realizadas por cada uma das funções.

O excesso de disseminação de informações faz com que as pessoas não tenham tempo de se ater aos assuntos relevantes e pertinentes à sua função.

A sincronização entre diferentes funções é um problema, principalmente porque o princípio puxar não é de tão fácil aplicação no processo de desenvolvimento como ocorre na manufatura, uma vez que as funções subseqüentes não sabem exatamente o que esperar de suas funções predecessores. Equipes de desenvolvimento podem, no entanto, basear-se em experiências anteriores, a fim de aplicar este conceito.

Atividades conduzidas em paralelo e não em série, com o advento da engenharia simultânea, poderiam contribuir positivamente para redução deste desperdício.

A falta de transparência com relação à capacidade de departamentos funcionais, planejamentos de cronogramas surreais, também contribuem para disparidades de sincronização entre etapas de desenvolvimento.

g) Defeitos

Para Liker (2004), este desperdício refere-se à produção de peças defeituosas e correções. Conserto, retrabalhos, descarte substituição de produção e inspeção significam perdas de manuseio, tempo e esforço.

Para Bauch (2004), da mesma forma que na manufatura, defeitos provenientes do processo de desenvolvimento se mostram na forma de especificações de baixa qualidade. No ambiente de desenvolvimento de produtos, onde tudo gira em torno da criação de novas informações, é comum a ocorrência de defeitos, deficiências e falhas na informação.

Além da informação, existem também questões ligadas à qualidade da informação, tais como: acessibilidade, relevância, interpretabilidade e atualizações.

Para Bauch (2004), dados e informações incorretas resultam de falta de qualidade de informações de etapas anteriores, por parte de pessoas que trabalham no desenvolvimento ou de softwares e ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento.

Para o autor, uma vez que a incerteza é um problema de todo o processo de desenvolvimento, testes e verificações em várias etapas do processo são de extrema importância. Testes e verificações fracas podem contribuir para a não identificação e eliminação de defeitos. Um dos grandes problemas enfrentados pelas empresas que desenvolvem produtos é a elevada quantidade de modificações de projeto durante o processo de desenvolvimento. Com isso é comum problemas

serem identificados somente na etapa de manufatura, aumentando os custos de modificação de projeto.

h) Reinvenção

Para Bauch (2004), este desperdício não foi tratado até o momento na etapa de manufatura. No entanto, é prática comum o desenvolvimento de soluções para os mais diversos problemas encontrados na manufatura, mesmo para problemas já tratados e solucionados por outras pessoas em oportunidades anteriores. Além da busca por uma solução inédita para um problema que já foi solucionado, devido à falta de conhecimento e aplicação de ferramentas sistematizadas de solução de problemas, como diagrama de Ishikawa⁵ e 6-sigma⁶, outra causa comum é a falta de uma prática eficiente de administração de conhecimento. É comum pessoas deixarem a empresa ou mudarem de função e levarem consigo toda a sua experiência.

Para Bauch (2004), na etapa de desenvolvimento de produtos é prática comum iniciar projetos a partir do nível mais baixo, ao invés de iniciá-lo a partir do nível em que o último terminou.

De acordo com o autor, os sintomas mais comuns deste desperdício são reinvenções de soluções já existentes, quando seriam necessárias somente algumas modificações.

Bauch (2004) relaciona algumas causas possíveis para este desperdício, como não utilização de soluções de projeto e pouco uso de valiosos conhecimentos de especialistas, principalmente em se tratando de projetos caros. Além de um melhor aproveitamento de soluções de projeto já desenvolvidas, deve-se fazer um melhor uso de experiências adquiridas durante o processo de desenvolvimento, inclusive com erros ou decisões que não se mostraram as melhores.

i) Falta de Disciplina Sistemática

Bauch (2004) considera disciplina do sistema como um conjunto de fatores cujos valores positivos são básicos e determinantes para o sucesso de um projeto. Por outro lado, os valores negativos causam desorganização no sistema.

⁵ Ferramenta que permite estruturar hierarquicamente as causas de determinado problema ou oportunidade de melhoria. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>>. Acesso em: 29 outubro 2008.

⁶ Aplicação de métodos estatísticos a processos empresariais, orientada pela meta de eliminar defeitos. (PYZDEK, 2003)

Dentro deste contexto, Bauch (2004) relacionou um conjunto de fatores que quando não são definidos de maneira clara, tornam-se sujeitos a interpretações variadas:

j) Regras mal definidas

Princípios e diretrizes visam tornar processos mais eficientes. Por isso devem ser claras, fáceis de entender, praticáveis e aceitáveis por todos os integrantes de uma equipe.

k) Desrespeito aos prazos

Prazos inexecutáveis e falta de vontade em cumpri-los, principalmente quando não se conhecem as conseqüências, são causas constantes deste fator.

l) Indisposição para cooperar

Indivíduos que priorizam seus objetivos em detrimento dos objetivos comuns ou da equipe de trabalho. Além disso, estruturas funcionais tendem a cultivar a transferência de responsabilidade ao invés da apropriação das mesmas.

m) Incompetência

Projetos são basicamente conduzidos por pessoas, responsáveis pela execução de atividades das quais outros membros do projeto dependem sucessivamente. Falta de capacidade (seja ela técnica ou comportamental) geram desgaste e desperdícios desnecessários.

n) Recursos de informática limitados

Dada a grande variedade de recursos de informática disponíveis atualmente, principalmente de plataformas de sistemas, processos de desenvolvimento devem ser capazes de serem mapeados em sistemas de armazenamento de informação também acessíveis a sistemas antigos e futuros, dada a sua grande taxa de evolução.

Bauch (2004) relaciona três grandes fatores de contribuição dos sistemas de informática:

o) Baixa compatibilidade

Gera desperdícios devido à reformatações e perdas de informações decorrentes da incompatibilidade entre sistemas com mesma função.

p) Baixa capacidade

Recursos ultrapassados ou mal escolhidos fazem com que se perca muito tempo e trabalho de desenvolvimento. Equipamentos ultrapassados, ou muito complexos, fazem com que se perca muito tempo durante a execução de tarefas, ou aprendendo como lidar com eles.

Para Bauch (2004), recursos de informática interligados em rede, com baixa capacidade de transmissão de informação, prejudicam o processo de desenvolvimento, principalmente porque projetos dependem quase que unicamente da transferência de informação.

O autor também considera que recursos de informática diferenciados, fazem com que os demais usuários não tenham acesso direto as informações geradas por eles. Sempre que engenheiros não conseguem acessar informações provenientes de outro engenheiro, ou precisem acessar um computador particular, que nem sempre se encontra disponível, é gerado desperdício.

2.3 DFX

Para Huang (1996), o DFX, ou *Design for X*, é “uma das mais efetivas abordagens para implementação da engenharia simultânea”.

Para Rozenfeld et al. (2006), o DFX pode ser considerado como uma base de conhecimentos com o objetivo de projetar produtos que maximizem todas as características como: alta qualidade, confiabilidade, serviços, segurança, usuários, meio ambiente, e tempo de mercado – ao mesmo tempo em que minimiza os custos do ciclo de vida e de manufatura do produto.

Para o autor, a importância de qualquer metodologia DFX, principalmente no Projeto Conceitual, deve-se ao fato de que as decisões tomadas nestas etapas têm o maior efeito nos custos de um produto pelo menor investimento.

Dentre as DFX mais comumente utilizadas, podem ser citadas: DFM (Projeto para Manufatura), DFA (Projeto para Montagem) e DFMA (Projeto para Manufatura e Montagem).

L. Xu et al. (2004) afirmam que para aumentar qualidade, diminuir custos e tempo de ciclo de desenvolvimento e também garantir o atendimento das necessidades dos consumidores, a engenharia simultânea requer que engenheiros de produto considerem todos os fatores envolvidos no ciclo de vida de seus produtos.

O sistema de produção em massa, idealizado por Henry Ford, foi responsável por uma significativa redução de custos de fabricação, devido a uma

diluição dos custos de transformação em seus grandes volumes, alto poder de negociação na compra de insumos, padronização de seus processos de fabricação, e aumento de qualidade. Durante os anos 1960s e 1970s, o projeto visando um aumento da economia de manufatura em grandes volumes começou a ganhar atenção especial.

De acordo com Huang (1996), no início dos anos 1960, muitas companhias passaram a desenvolver diretrizes de suporte ao desenvolvimento de produtos, (como o *Manufacturing Producibility Handbook* (1960) compilado pela General Electric, para uso interno). Assim a primeira ferramenta DFX criada foi a DFM (*Design for Manufacturability*) seguida pela DFA (*Design for Assembly*). Normalmente a ferramenta DFA está associada à DFM. No entanto, para Huang (1996), não houve grandes avanços até que a ferramenta DFA estivesse sistematicamente desenvolvida, nos anos 1970.

É crescente a busca por um processo de desenvolvimento que se beneficie dos princípios e métricas que compõem a abordagem enxuta, também conhecidos por princípios enxutos, como observou Bjarnoe (2006). Seguindo este princípio, o autor percebeu que existem diversas abordagens, umas mais (WARD, 2004) e outras menos abrangentes quanto à aplicação de tais princípios. Seu foco de aplicação pode estar voltado para eliminação de desperdícios (COOPER, 2005), ou orientação do fluxo de informações (REINERTSEN, 2005).

Dessa forma Bjarnoe (2006) afirma que existem duas formas de se beneficiar dos princípios enxutos: durante o PDP e durante a etapa de manufatura. Durante o PDP o impacto de sua utilização é maior do que na etapa de manufatura, uma vez que o PDP trabalha com múltiplas especificações possíveis, permitindo eliminar desperdícios, tanto no processo de desenvolvimento quanto no processo de fabricação.

Com isso, Bjarnoe (2006) afirma que a utilização de princípios enxutos na etapa de desenvolvimento pode estar voltada para a eliminação de desperdícios na etapa de desenvolvimento de produtos, ou para a eliminação de desperdícios durante o processo de fabricação.

Bjarnoe (2006) afirma que a metodologia do conjunto de alternativas (*set based design*) pode ser aplicada com o intuito de promover um PDP enxuto (*design for lean product development*), ou, através da modularização, que também cria

eficiência no processo de fabricação, como uma ferramenta integrante do DFM, como mostra o quadro 2.

Projeto para o desenvolvimento enxuto de produtos (<i>Design for lean product development</i>)	Projeto para manufatura enxuta (<i>Design for Lean Manufacturing</i>)	Fluxo de desenvolvimento de produtos enxuto (<i>Lean product development flow</i>)
Conjunto de alternativas (<i>set based design</i>)	Plataformas de arquitetura modular	Ferramentas oriundas do Sistema de Produção Toyota
Plataformas de arquitetura modular	DFM	Engenharia simultânea
		Otimização da cadeia de atividades (valor e desperdício)

QUADRO 2 - DIFERENTES APLICAÇÕES DOS PRINCÍPIOS ENXUTOS NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS

FONTE: Bjarnoe (2006)

2.3.1 Design for Manufacturability

Para Krumenauer (2007):

O DFM é um conjunto de métodos e ferramentas que suporta a engenharia simultânea e que pode ser interpretados como uma estrutura de processos de engenharia simultânea e ferramentas analíticas que proporcionam aos grupos multidisciplinares de desenvolvimento de produto e processo, condições de projetar um produto que seja manufaturado adequadamente.

Para Edwards (2002), o DFM é um procedimento sistemático que maximiza o uso de processos de fabricação no projeto de componentes.

Huang (1996) afirma que é um consenso que os projetistas devem dar a devida atenção a possíveis problemas de manufatura associados ao projeto. Tradicionalmente, a idéia era de que um projetista competente deveria ser familiarizado com o processo de fabricação, evitando assim aumentar custos de manufatura desnecessariamente.

No entanto, de acordo com o autor, devido à necessidade de incrementos tecnológicos e a pressões por menores tempos de desenvolvimento sobre

projetistas, muitos destes se vêem na condição de se ater a um projeto puro e simples, deixando a preocupação com a manufaturabilidade em um plano inferior.

2.3.2 DFA – Design for Assembly

Para Edwards (2002), assim como o DFM, o DFA é “um procedimento sistemático que maximiza o uso de componentes no projeto de um produto”.

Para Chan e Salustri (2005), o DFA visa simplificar o produto de forma a reduzir o custo de montagem. Os autores afirmam ainda que como consequência ainda ocorre uma melhora da qualidade e confiabilidade do produto, uma vez que o número de componentes propensos a apresentar problemas diminui.

Chan e Salustri (2005) prevêem a necessidade de analisar o projeto das peças bem como todo o conjunto, a fim de identificar problemas de montagem nas etapas iniciais do projeto.

As diretrizes de projeto para montagem (DFA) estão classificadas em três grandes grupos, de acordo com o tipo de montagem empregada:

- Montagem manual;
- Montagem por automação pesada, onde é utilizado um equipamento de montagem especialmente projetado para realizar uma montagem específica;
- Automação leve ou automação robotizada incorpora o uso de montagens realizadas por robôs, ou células de montagem de multi-estações.

Por entender-se que sua aplicação ainda é a mais difundida e em função do ambiente de realização do estudo, optou-se por restringir o estudo ao projeto para montagem manual.

As diretrizes de projeto para montagem manual são:

- Elimine a necessidade dos operadores escolherem peças ou ajustes;
- Garanta acesso e visibilidade;
- Elimine a necessidade de ferramentas de dispositivos;
- Minimize o número de peças diferentes;
- Minimize o número de peças em geral;

- Evite a necessidade de orientar peças durante a montagem;
- Prefira peças facilmente manuseadas que não fiquem presas umas às outras.

A fim de orientar na redução do número de peças, a metodologia proposta por Boothroyd e Dewhurst (1994, apud EDWARDS, 2002) prevê três critérios contra os quais cada peça deve ser examinada antes de ser adicionada ao produto:

- Durante operação do produto, a peça se move relativamente a outras peças já montadas?
- Deveria uma peça ser de um material diferente, ou isolada de todas as outras peças já montadas?
- A peça deve ser separada de todas as outras peças já montadas por que é necessária sua desmontagem ou montagem?

Caso a resposta seja positiva para qualquer uma destas questões, então a peça deve ser tratada como um componente separado. O número de peças críticas é mantido ao mínimo número de peças teórico, uma vez que, em teoria, todas as outras podem ser removidas. Com isso, projetistas devem ter uma boa justificativa para incluir uma peça se ela não atender a algum destes critérios.

2.3.3 DFMA – *Design for Manufacturability and Assembly*

Não restam dúvidas de que um esforço maior é necessário a fim de que manufatura e montagem sejam consideradas nas etapas iniciais do desenvolvimento de novos produtos.

A fim de obter uma maior efetividade durante o desenvolvimento de novos produtos, é comum a unificação dos procedimentos DFM e DFA, resultando em uma ferramenta única, denominada DFMA.

DFMA é um “procedimento sistemático que busca ajudar companhias a otimizar recursos já disponíveis de manufatura e montagem mantendo o número de peças em um nível mínimo”. (EDWARDS, 2002).

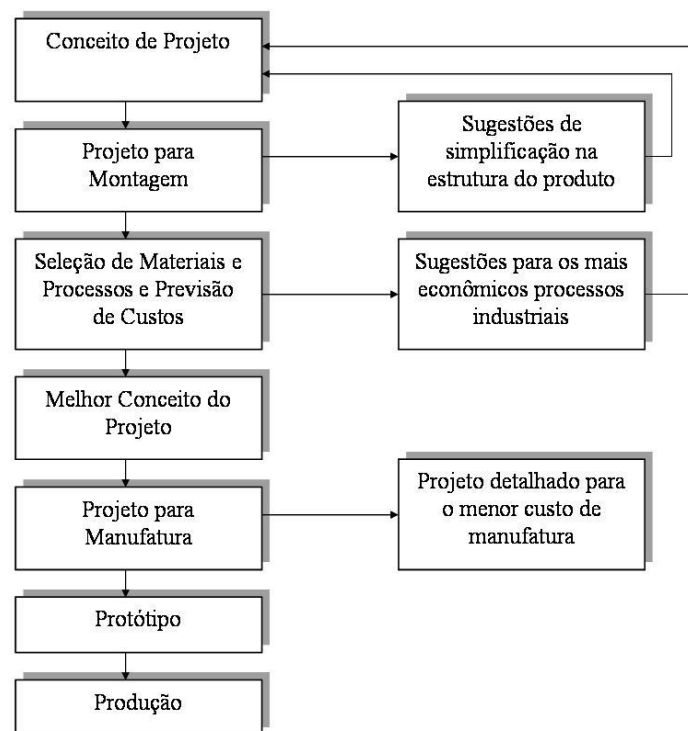


FIGURA 11 - ESTÁGIOS DO DFMA

FONTE: Boothroyd e Dewhurst (1994, apud EDWARDS, 2002)

A figura 11 ilustra de maneira sistemática os dois estágios de desenvolvimento propostos por Edwards (2002). Inicialmente o DFA é conduzido, levando a uma simplificação da estrutura do produto e economia da seleção de materiais e processos. Depois de finalizados os processos, a melhor concepção é encaminhada ao DFM, conduzindo a um projeto detalhado dos componentes visando custos mínimos de manufatura.

Abaixo, algumas diretrizes DFM e DFA propostas por Edwards (2002):

– **Componentes padronizados devem ser incorporados.**

Muitos componentes tais como: porcas, parafusos, engrenagens, retentores, arruelas e roldanas podem ser fabricados em larga quantidade podendo ser empregados sempre que possível. O custo destes componentes será menor do que o custo de um componente similar não padronizado.

Além disto, a padronização destes componentes contribui para uma diminuição significativa da quantidade total de peças no produto final, trazendo como benefícios:

- a) Redução da quantidade de peças na linha de montagem;

- b) Redução do número de equipamentos de montagem (parafusadeiras, torquímetros, etc.);
- c) Redução do tempo de escolha de peça;
- d) Intercambialidade de peças;

– **Processos manuais devem ser reduzidos ao mínimo.**

Aspectos de projeto significantes na montagem manual e fixação são:

- a) Acessibilidade nos tempos de montagem;
- b) Facilidade de montagem;
- c) Visibilidade da localização de montagem;
- d) Facilidade de alinhamento e posicionamento durante a montagem;
- e) Profundidade da inserção.

Além disso, sempre que possível deve ser considerada a possibilidade de montagens automatizadas.

– **Se a simetria não pode ser alcançada, a assimetria deve ser aumentada a fim de facilitar a orientação.**

Assim, evita-se que montadores necessitem de dispositivos especiais para a determinação da montagem correta, ou mesmo que possam cometer erros que ocasionariam retrabalhos e perda de produtividade;

– **Projetos devem ser desenvolvidos considerando a facilidade de embalagem**

O acondicionamento da peça é um fator importante a ser considerado durante o projeto. Dificuldades no acondicionamento, além de causar um aumento desnecessário de espaço de armazenamento, podem causar danos às peças. Com isso tornam-se necessários retrabalhos, ou peças de reposição, diminuindo a eficiência total do processo.

Deve ser evitado o extremo de considerar o acondicionamento de grandes lotes, por ir ao sentido contrário da Manufatura Enxuta.

– **Padronização de fixadores**

Neste caso deseja-se reduzir a quantidade de variações em torno do número de tamanhos e estilos de fixadores no produto. Com isto reduz-se problemas com inventário, onde operadores não necessitam distinguir entre os vários tipos de fixadores. Assim a estação de trabalho opera de maneira simplificada, e a quantidade de ferramentas utilizadas para fixação (parafusadeiras) será reduzida.

- **Uma redução no número de componentes em um produto ou montagem pode ser o primeiro objetivo de um projetista para reduzir os custos de montagem**

A redução de componentes poderá oferecer melhores condições de montagem. Subconjuntos, ou ainda peças que agregam funções são bem-vindas no processo de montagem. Por outro lado, um cuidado deverá ser tomado no sentido de tal redução não implicar em uma redução no número de opções oferecidas ao cliente final.

- **O projetista deverá ter bom conhecimento do seu chão de fábrica, sub-contratados e fornecedores de materiais**

De fato, o bom conhecimento dos processos e capacidades de transformação, é um importante diferencial no momento de desenvolvimento de produtos, evitando concepções desastrosas. No entanto, principalmente nas indústrias automotivas, é comum um mesmo produto ser industrializado em diferentes plantas de uma mesma empresa, com realidades fabris totalmente diferentes. Desta forma adaptações do produto para cada região, podem contribuir para reduções de custos de manufatura em todas as plantas.

- **Selecione materiais que melhor se apliquem às operações de processamento**

Muitas vezes, o projetista seleciona um material inadequado ao processo de fabricação escolhido, como por exemplo, materiais pouco dúcteis que devem ser estampados.

- **Procure projetar peças fundidas com geometria mais simples possível**

Peças fundidas de geometria simples diminuem perda de materiais nos canais de injeção, no entanto, muitas vezes dificultam o processo de montagem, por não oferecerem uma posição exata de encaixe, demandando tempo para se encontrar a posição correta.

- **Projete componentes que apresentem o maior número de componentes possível**

Esta diretriz atende tipicamente ao sistema de produção em massa, uma vez que visa uma redução de custos através da manufatura de grandes lotes, antes de se trocar a ferramenta.

– **Utilize tolerâncias mais amplas possíveis**

Quanto maiores as tolerâncias, principalmente de peças estampadas e usinadas, menores serão seus custos de fabricação. No entanto, peças estampadas ou usinadas, que posteriormente são soldadas ou montadas, aumentam os custos de soldagem ou montagem, por dificultarem seu posicionamento. A diferença encontra-se na definição de torques de uniões parafusadas, uma vez que quanto maiores as tolerâncias de torque, mais econômico se torna o processo.

Boa parte das diretrizes propostas por Edwards (2002), são releituras das diretrizes propostas por Bralla (1996), e na maior parte das vezes visa o desenvolvimento de produtos que permitam economia em grandes quantidades, ou seja, visando a produção em massa.

De fato, como pode ser facilmente observado na indústria, uma das maiores contribuições do PDP para a Manufatura Enxuta é a redução do número de componentes, não somente o número de variantes de componentes. Ao diminuir o número de componentes, os seguintes benefícios são atingidos:

- a) Diminuição do número de operações de montagem;
- b) Diminuição do custo de compras, fabricação e montagem;
- c) Redução do tempo de ciclo e fornecedores, entre outros;

Foi pensando nisso que, Greer et al. (2003) propuseram uma metodologia de desenvolvimento que visa uma redução significativa do número de componentes, através da combinação de componentes. Esta, por si só, já é uma diretriz DFA, proposta por muitos autores.

O que diferencia o trabalho de Greer et al. (2003) é a análise do fluxo de esforço utilizada para combinar componentes com diferentes graus de liberdade.

De acordo com o autor, o número mínimo de peças representa uma situação ideal onde peças separadas são combinadas em uma única, a menos que se encontrem dentro de uma das situações abaixo:

- 1) A peça se move relativamente a todas as outras peças montadas durante modo operatório normal do produto final;
- 2) A peça deve ser concebida com material diferente das demais, ou deve ser isolada de todas as outras peças montadas.

A peça deve ser separada de todas as outras peças montadas, desconsiderando a montagem, ou peças que se enquadrem em um dos critérios supracitados, deve ser evitada.

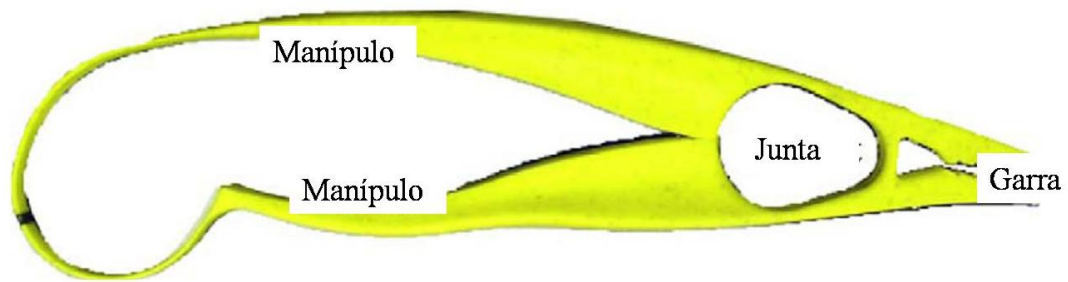


FIGURA 12 - ALICATE EM MOLDE ÚNICO

FONTE: Greer et al. (2003)

A figura 12 ilustra a proposta de que, segundo Greer et al. (2003), peças com movimentos relativos possam ser combinadas em mecanismos monolíticos, utilizando mecanismos de juntas comunicantes.

Concluída a etapa de análise e simplificação da estrutura do produto, utilizando técnicas DFMA, o próximo passo é analisar a manufatura de componentes individuais. Uma vez que não é comum projetistas terem conhecimento dos processos de conformação da maioria das peças, estes comumente optam por projetos com os quais sintam-se mais confortáveis. A idéia do processo de estimativa de custos via DFMA, uma vez que se está discutindo a manufatura propriamente dita, é permitir que projetistas tenham condições de avaliar projetos e processos de fabricação alternativos, quantificar custos, e tomar decisões entre consolidações de peças e acréscimo de custos de materiais e transformação.

Ferramentas DFMA provêm de informações baseadas em trabalhos experimentais, utilizadas para estimativa de custos de uma variedade de processos.

2.3.4 Resultados Obtidos Através da Ferramenta DFMA

Técnicas DFMA fornecem procedimentos sistemáticos utilizados para analisar projetos propostos do ponto de vista da montabilidade e manufatura. Este procedimento resulta em produtos mais simples e mais confiáveis com custo de montagem e manufatura reduzidos. Além disso, qualquer redução no número de peças a serem montadas produz um efeito bola de neve em redução de custos,

devido às documentações (desenhos e especificações) não mais necessárias, bem como vendedores e inventários que são eliminados.

Outro aspecto importante é que ferramentas DFMA promovem a interação entre áreas de projeto (*design*) e processo / manufatura, e qualquer outra área cliente do projeto e que tenham algum impacto no custo final do produto durante as etapas iniciais do desenvolvimento. Isto significa que a equipe de trabalho é encorajada a se beneficiar da Engenharia Simultânea.

2.4 PRODUTOS DE BAIXO CUSTO ALIADOS À MANUFATURA ENXUTA

O setor automotivo, em particular, está atravessando mais um período de grande mudança, marcado pela descoberta de volumosas classes de consumidores que até então nunca tiveram acesso a um veículo novo. Veículos baratos, que atendam a requisitos de legislação impostos e que ainda atendam a necessidade de seus clientes mantendo uma boa margem de lucro, têm sido um dos maiores desafios do setor automotivo.

A figura 13 ilustra dois casos de produtos concebidos de forma a eliminar custos de manufatura: Renault Logan e Tata Nano. Estes veículos além de corresponderem exatamente às expectativas do seu público alvo (baixo custo), reduzem drasticamente os custos de manufatura, graças ao seu projeto voltado para manufatura de baixo custo. Os projetistas do Logan desenvolveram espelhos retrovisores idênticos para os dois lados, reduzindo a necessidade de cuidados para montar a peça do lado certo, além do número de componentes. Além disso, desenvolveram também peças estampadas que se encaixam no momento de serem soldadas, reduzindo a necessidade de dispositivos.

Os projetistas da Tata buscaram desenvolver um veículo espaçoso, mas com dimensões extremamente reduzidas, através do posicionamento das rodas nas extremidades do veículo. O Tata foi projetado de forma que possa ser separado na forma de Kits e montado em vários locais, principalmente por empresas locais (HAGEL; BROWN, 2008).



FIGURA 13 - EXEMPLOS DE PRODUTOS QUE BENEFICIAM A MANUFATURA ENXUTA

FONTE: Elaborado pelo autor

2.5 DESIGN FOR LEAN MANUFACTURING (DFLM)

Muitos autores mencionam a importância de se buscar uma redução dos custos de fabricação do produto, através do processo de desenvolvimento de produtos. Rozenfeld et al. (2006) menciona a importância de se escolher componentes padronizados a fim de se aumentar a qualidade, confiabilidade, intercambialidade, reduzir variantes e economia na aquisição em maiores quantidades, entre outros.

Em seu livro, Anderson (2004), buscou identificar características desejáveis ao projeto do produto, de forma a atender necessidades da Manufatura Enxuta.

Dentre elas podemos citar:

- Todas as peças de uma planta flexível devem poder ser padronizáveis, de forma a reduzir o número de variantes de peças por posto de trabalho;
- Definir um único tipo de parafuso por posto de trabalho, de forma a permitir o uso de alimentadores de parafusos automáticos em parafusadeiras. Esta característica somente é aplicável para produtos fabricados em uma única planta. A fabricação de automóveis, muitas vezes fabricados em diferentes plantas, em diferentes países e diferentes instalações, dificilmente poderia ser beneficiada por esta característica;
- Produtos e processos devem ser projetados de forma a não necessitarem de grandes ajustes (*setup*), para peça ou produto;

- Programas (*softwares*) de equipamentos de produção devem estar disponíveis de forma a poderem ser instalados instantaneamente;
- Peças e insumos devem ser definidos de forma que possam ser repostos de forma automática. Segundo Anderson (2004), isto pode ser conseguido através da especificação de peças e materiais de fácil disponibilidade e alto nível de padronização.

Todas as peças devem poder ser puxadas, conforme a demanda de produção. Para isto seus fornecedores devem poder produzir peças conforme a demanda, evitando a necessidade de estoques.

Apesar do esforço do autor em relacionar características desejáveis a um produto que contribua com a implantação da Manufatura Enxuta, faltam elementos práticos, na forma de ferramentas e diretrizes, para suportar efetivamente o projetista na tarefa de desenvolver produtos com esta finalidade.

Considerando que a concepção do produto pode ter importante contribuição para a Manufatura Enxuta, Raeder e Forcellini (2007), propuseram um conjunto de diretrizes, denominadas *Design for Lean Manufacturing* (DFLM), que têm como objetivo suprir a necessidade de equipes de desenvolvimento na tarefa de projetar produtos que estejam alinhados com esta abordagem.

Abaixo, algumas das diretrizes adaptadas de Raeder e Forcellini (2007):

- Peças com menor grau de complexidade podem reduzir necessidades de ajustes, trocas de ferramentas e medições de controle em processos de estampagem.
- Especificação da espessura de peças estampadas (laterais, portas, etc.) pode ter influência na quantidade de defeitos destas peças.
- Peças estampadas com maior grau de complexidade podem reduzir o número de fixações (alicates) no processo de soldagem, bem como número de pontos de solda e a necessidade de verificações de qualidade.
- Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribuem para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos de conjuntos montados (montagem final de veículos).
- Comunização de elementos de fixação (parafusos; rebites; etc.) tem uma contribuição importante com a Manufatura Enxuta.

Apesar dos esforços dos autores mencionados anteriormente em diminuir desperdícios durante o processo de desenvolvimento, a ferramenta DFLM ainda não está suficientemente estruturada de forma a suprir a necessidade de projetistas que busquem desenvolver produtos que contribuam com a implantação da Manufatura Enxuta.

O grande diferencial e objetivo da ferramenta DFLM é a forma como ela visa evitar desperdícios específicos, ocorridos na etapa de manufatura, e que são combatidos pela Manufatura Enxuta.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o levantamento bibliográfico foi possível perceber que a abordagem enxuta, embora tenha sido mantida pela maior parte das empresas no chão de fábrica, tem grande aplicação em todos os setores suportados por fluxos físicos (materiais) ou de informação. Esta abordagem tem recebido o nome de *Lean Enterprise*. Um dos setores que mais pode se beneficiar da abordagem enxuta é o de desenvolvimento de produtos. Isto porque nele o valor é criado através do fluxo de informações entre suas diversas áreas. Como o tempo de desenvolvimento é um importante fator de sucesso, o fluxo de informações deve ocorrer de forma constante com o mínimo possível de interrupções.

A etapa processo de desenvolvimento de produto conta com uma dificuldade particular em relação à etapa de manufatura: por ser um processo baseado exclusivamente no fluxo de informações, seu resultado não aparece de maneira tão instantânea quanto na etapa de manufatura.

O processo de industrialização baseia-se em objetos físicos, em que os resultados aparecem quase que instantaneamente, fazendo com que a abordagem enxuta seja de aplicação mais viável, dentro dos limites de atuação da manufatura, do que em demais processos empresariais, baseados em fluxos de informações. Por esse motivo, o desenvolvimento de produtos que tenha por objetivo contribuir com a Manufatura Enxuta, requer esforço, experiência e etapas de controle mais robustas, a fim de medir seus resultados ainda durante a etapa de desenvolvimento, evitando uma avaliação tardia, durante a etapa de desenvolvimento.

A passagem de uma fase para outra dentro de um projeto pode ocorrer de forma tranqüila, de modos que as áreas clientes recebam informações com um mínimo de inconsistências, ou pode ocorrer como ilustrado na figura 14, em que ocorre uma mera transferência de informações, sem uma preocupação com a compreensão das mesmas, pelas áreas clientes.



FIGURA 14 - TRANSFERÊNCIA DE DEFEITOS ENTRE ETAPAS EM PROCESSOS PDP

FONTE: Elaborado pelo autor

Através do embasamento teórico é possível perceber que algumas das ferramentas DFX, principalmente a DFM, DFA e DFMA, englobam diretrizes que contribuem positivamente, com a Manufatura Enxuta. No entanto estas diretrizes encontram-se dispersas e sua aplicação com a finalidade de minimizar desperdícios na etapa de manufatura não está devidamente estruturada.

Assim, equipes de desenvolvimento ainda carecem de uma ferramenta que sistematize o uso das diretrizes existentes bem como novas, com o propósito de contribuir com a abordagem enxuta.

3 PROPOSIÇÃO DAS DIRETRIZES DFLM

Conforme mencionado na introdução, este estudo é dividido em duas partes: na primeira busca-se o levantamento das diretrizes, e na segunda a verificação das mesmas.

Assim, o presente capítulo tem como principal objetivo identificar diretrizes que possam contribuir com equipes de desenvolvimento, na tarefa de gerar produtos que atendam necessidades da abordagem *Design for Lean Manufacturing* - DFLM. As bases deste trabalho, bem como a metodologia do desenvolvimento da pesquisa, foram estabelecidas no Capítulo 1 – Introdução.

Uma vez definida a metodologia adotada para o levantamento das diretrizes e definida a ferramenta de suporte, este capítulo partirá da elaboração do questionário propriamente dito, para a tabulação dos resultados, sendo finalizado com uma interpretação destes nas considerações finais.

O desdobramento do processo de levantamento de diretrizes obedecerá à seguinte seqüência:

1. Elaboração e Aplicação do Questionário;
2. Tabulação dos Resultados Obtidos e Proposta do Conjunto de Diretrizes;
3. Considerações Finais.

3.1 ELABORAÇÃO E APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

Uma vez definido o questionário como ferramenta utilizada para o levantamento de diretrizes, é momento de definir as perguntas que o compõem.

A aplicação do questionário tem por objetivo levantar a percepção dos respondentes quanto à eficácia de determinadas diretrizes no desenvolvimento de produtos que contribuam com a Manufatura Enxuta.

Este levantamento se dará através da aplicação de um questionário, concebido de forma a permitir que uma relação direta entre as diretrizes propostas e os sete desperdícios evitados pela Manufatura Enxuta seja estabelecida, como pode ser observado nas tabelas 1 a 6 e quadro 3.

Para isso o questionário (apresentado no Apêndice A) relaciona uma série de diretrizes, e para cada diretriz apresentada, o entrevistado atribuiu um valor de peso, correspondente à contribuição desta diretriz para minimizar cada um dos sete desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta.

As diretrizes submetidas ao questionário foram selecionadas por se encontrarem entre as mais difundidas na literatura e no meio industrial, particularmente na indústria automotiva e por serem mais aplicáveis aos processos de manufatura abordados neste estudo: usinagem, estampagem, soldagem e montagem.

Conforme o próprio questionário mostra, o conjunto de diretrizes avaliadas foi disposto em grupos, conforme sua aplicação (usinagem, estampagem, soldagem e montagem, propostas pelo autor e necessidades e desejos na opinião dos respondentes). Cada relação diretriz versus desperdício recebeu uma nota, dada pelo entrevistado, correspondente ao peso com que este desperdício era evitado pela diretriz. O modelo do questionário aplicado pode ser observado no Apêndice A.

Realizadas as entrevistas, uma média das notas definiu qual desperdício seria mais fortemente minimizado pela diretriz. Por exemplo, na tabela 1, a diretriz “Definir tolerâncias capazes de serem atingidas dentro da capacidade da primeira operação de usinagem.”, obteve a maior média para a relação com o desperdício “Superprocessamento e processamento incorreto”, sendo este o desperdício mais fortemente combatido por ela, na opinião dos respondentes.

3.2 TABULAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS E PROPOSTA DO CONJUNTO DE DIRETRIZES

De posse dos questionários e entrevistas respondidos, foi efetuada uma média aritmética dos pesos atribuídos (por todos os respondentes), para a relação entre cada diretriz e cada um dos sete desperdícios. A média das relações entre as diretrizes e os desperdícios que apresentar o valor mais elevado, definiu o desperdício mais fortemente evitado por cada diretriz.

Após a aplicação do questionário, as tabelas 1 a 6 e quadro 3, apresentam a tabulação dos resultados obtidos com a aplicação dos questionários na seguinte ordem:

- a) Diretrizes DFLM voltadas para processos de usinagem;
- b) Diretrizes DFLM voltadas para processos de estampagem;
- c) Diretrizes DFLM voltadas para processos de soldagem a arco;
- d) Diretrizes DFLM voltadas para processos de soldagem a ponto;
- e) Diretrizes DFLM voltadas para processos de montagem;
- f) Diretrizes DFLM voltadas para processos diversos, propostas pelo autor;
- g) Necessidades ou desejos sugeridos pelos entrevistados (ou respondentes), que no quadro 3 foram traduzidos na forma de diretrizes.

As diretrizes relacionadas na tabela 6 foram propostas pelo autor, com base em experiências e resultados práticos obtidos em seu ambiente de trabalho, como pode ser observado com maiores detalhes em Raeder e Forcellini (2007). Elas são um conjunto de diretrizes DFLM com aplicações nos seguintes processos de manufatura estampagem, soldagem e montagem.

Os resultados apresentados pelas tabelas 1 a 6 e quadro 3, permitem identificar o desperdício mais fortemente combatido pelas diretrizes DFLM nelas relacionadas, sob a ótica da Manufatura Enxuta.

TABELA 1 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO - PROCESSO DE USINAGEM

	Desperdício:	Super produção	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes Voltadas Para Usinagem	Definir tolerâncias capazes de serem atingidas dentro da capacidade da primeira operação de usinagem.	8,8	8,1	6,4	9,4	6,4	9,1	9,2
	Sempre que possível, elimine etapas de usinagem.	8,6	8,0	6,5	9,4	6,3	9,0	9,2
	Sempre que possível, utilize medidas de usinagem disponíveis comercialmente, a fim diminuir operações de usinagem “in-factory”.	9,2	8,7	8,0	7,0	9,0	6,8	7,2
	Especificar chapas laminadas a frio a fim de obter boa qualidade de acabamento e tolerâncias mais apertadas.	8,9	8,0	6,7	9,1	6,8	8,6	8,7
	Utilizar espessura mais fina possível.	8,8	8,4	7,6	9,1	7,9	6,5	6,8
	Utilizar seções simples a fim de economizar conformações.	9,6	8,6	8,0	9,4	8,1	6,1	6,3
	Utilizar tipos de aço inox especificamente destinados a processos de manufatura, como os livres de níveis de usinagem.	9,0	8,3	7,8	9,2	8,1	6,1	6,3

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 2 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO - PROCESSO DE ESTAMPAGEM

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes Voltadas para Processo de Estampagem	Escolher chapas que possam ser facilmente armazenadas em conjunto, como as em formato de “L” ao invés das de “T.”	8,7	8,9	8,0	9,4	9,0	9,3	8,3
	Projetar peças cujos retalhos sejam grandes suficientes para formar outra peça	4,9	8,9	6,2	9,5	9,3	6,6	9,8
	Evitar cantos vivos quebradiços.	5,1	8,9	6,2	9,3	8,8	6,6	7,2
	Especificar furos redondos ao invés de outros formatos (quadrados; oblongos; etc.).	5,1	8,5	6,2	9,0	6,8	6,6	9,1
	Especificar o furo de forma a fazê-lo antes da conformação.	4,8	8,3	5,9	8,5	6,1	6,3	8,9
	Especificar alívios, a fim de evitar distorções.	4,8	8,3	5,9	8,2	5,7	5,7	8,9

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 3 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – SOLDAGEM POR ARCO

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes Voltadas para Processo de Soldagem a Arco	Sempre que possível, disponibilize espaço para o bocal usinagem (soldas MIG e MAG)	6,0	9,7	5,8	8,0	9,4	9,2	8,2
	Sempre que possível, prefira seccionar grandes cordões de solda em vários cordões menores, a fim de economizar material e tempo de soldagem.	8,8	8,4	7,3	9,6	6,5	8,7	9,6
	Sempre que possível, permitir que a soldagem seja efetuada na horizontal, por ser a posição mais rápida e conveniente de acordo com as técnicas de soldagem.	8,8	8,1	6,2	9,5	6,2	8,9	9,3
	Busque garantir um bom encaixe das peças unidas, evitando distorções.	8,8	8,3	6,3	9,3	6,3	5,4	9,5
	Sempre que possível, evite especificar soldagens em regiões que posteriormente sofrerão processos de usinagem, sob pena de gerar esforço de corte excessivo devido ao tratamento térmico causado pela solda.	8,9	8,4	6,6	9,6	5,2	8,8	9,8
	Caso o conjunto soldado seja muito grande, prefira dividi-lo em partes menores. Proporcionando posições de soldagem adequadas (horizontais) e que o bocal tenha acesso aos pontos de soldagem na maior parte das vezes.	9,0	8,3	6,2	9,7	5,9	9,9	8,3
	Sempre que possível, utilize chapas mais grossas quando distorções forem indesejáveis.	8,6	8,1	6,6	9,5	6,4	6,2	9,6

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – SOLDAGEM A PONTO

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes Voltadas para Processos de Soldagem a Ponto	Sempre que possível, defina pontos de soldagem opostos umas às outras, a fim de evitar distorções.	5,9	5,4	5,8	8,4	8,6	6,4	9,7
	Se for necessário unir mais de duas chapas por vez, procure fazer recortes na área soldada, de forma que cada ponto de solda uma somente duas chapas, a fim de evitar pontos de solda enfraquecidos.	8,2	7,7	6,8	9,8	6,0	8,1	9,8
	Sempre que possível, preveja dobras das bordas soldadas, a fim de obter maior resistência do conjunto soldado.	8,9	8,0	6,1	9,8	6,5	8,7	9,3
	Evite pontos de solda muito próximos a fim de impedir que ocorra fuga de corrente pelo ponto de solda anterior e mais próximo.	9,3	8,4	6,1	9,2	6,1	5,6	9,3
	Procure evitar grandes espaçamentos de pontos de solda, a fim de garantir rigidez suficiente do conjunto soldado.	9,2	7,8	6,0	9,4	5,1	8,6	9,5

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 5 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – MONTAGEM

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes Voltadas para Montagem	Substituir uniões parafusadas por fixações de encaixe.	9,6	8,9	8,3	9,8	8,7	6,6	6,9
	Incorporar elementos em uma única peça, tais como guias, rolamentos, e coberturas.	9,7	8,9	8,4	9,3	8,8	8,5	6,9
	Sempre que possível, agrupe componentes elétricos e eletrônicos em um local único, consolidando o máximo possível.	9,3	8,6	8,1	7,9	8,4	9,5	6,6
	Tente combinar parafusos e arruelas em um elemento único.	9,3	8,6	8,1	8,2	8,7	9,8	6,9
	Substituir furos usinados, porcas e arruelas, por parafusos auto-atarrachantes.	9,3	8,6	8,1	8,5	8,4	9,5	6,9
	Substituir uniões parafusadas por uniões rebitadas.	9,3	8,6	8,1	9,5	8,4	9,5	6,7
	Sempre que possível, utilize parafusos e outros elementos padronizados, de forma a reduzir a quantidade de variantes de peças	9,3	8,7	8,1	8,9	9,6	9,6	7,0
	Utilizar componentes modulares pré-montados sempre que possível.	9,6	8,6	8,1	8,9	8,4	9,6	6,7

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
	Evitar o uso de elevado nível de pré-montagens ao mesmo tempo, de forma a evitar acúmulo excessivo de material “em trabalho” armazenado em etapas intermediárias	9,6	9,1	8,1	8,9	9,0	9,5	6,7
	Utilizar poka-yokes no projeto de peças, de forma a impedir montagens incorretas	9,3	9,3	8,1	8,9	9,2	9,2	8,8
	Projetar peças que se auto-orientem durante a montagem.	9,3	9,3	8,1	8,9	8,5	9,5	9,3
	Eliminar necessidade de ajustes sempre que possível.	9,3	9,2	8,1	8,8	8,4	9,3	9,8
	Evitar projetar peças que devam ser manuseadas manualmente, sem auxílio de equipamentos (podendo acarretar perdas e problemas de qualidade).	9,4	9,1	8,0	9,2	8,4	9,2	9,7
	Padronizar o maior número de peças e elementos de fixação (parafusos, porcas, clips, etc.) possível.	9,3	9,1	8,1	9,4	8,9	9,7	9,5

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – PROCESSOS DIVERSOS

	Desperdício:	Superprodução	Espera	Transportes desnecessários	Superprocessamento e processamento incorreto	Excesso de inventário	Movimentações desnecessárias	Defeitos
Classificação das Características	Características desejáveis a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados	Média Aritmética do Peso Atribuído Para Cada Desperdício (de 0 a 10)						
Diretrizes de Aplicações Diversas	Peças com menor grau de complexidade podem reduzir necessidades de ajustes, trocas de ferramentas e medições de controle em processos de estampagem.	5,8	6,3	6,0	8,0	7,5	9,3	8,7
	Correta especificação da espessura de grandes peças estampadas (laterais, portas, etc.), reduz a quantidade de defeitos destas peças.	8,9	8,6	7,5	9,6	6,2	8,6	9,8
	Peças estampadas com maior grau de complexidade reduzem o número de pontos de ancoragem no processo de soldagem, bem como número de pontos de solda e a necessidade de verificações de qualidade.	8,8	8,3	6,3	9,1	6,2	8,6	9,8
	Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribuem para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos de conjuntos montados (montagem final de veículos).	8,6	8,1	6,3	9,2	6,3	8,4	9,7
	Comunização de elementos de fixação (parafusos; rebites; etc.), reduzem inventário, espaço de armazenamento na linha de montagem e o tempo gasto pelo operador para encontrar a peça correta.	9,0	8,4	6,6	9,6	9,9	8,8	6,6
	Sempre que possível, evite operações de pré-montagem (pré-apertos; posicionamentos; etc.).	9,1	8,4	6,6	9,6	6,6	10,0	9,2

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 3 - RESULTADOS OBTIDOS COM A APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO – NECESSIDADES E SUGESTÕES SOB O PONTO DE VISTA DOS RESPONDENTES

Classificação das Características	Desejos e Sugestões na Opinião dos Respondentes	Desperdício Evitado
Diretrizes Propostas Pelos Respondentes	Utilizar indicações que facilitem a montagem (Ex.: marcações em tubos que indicam a posição de montagem em grampos).	Defeitos
	Busque simplificar o projeto do produto (de forma a poder ser dividido em peças menores, facilitando o balanceamento)	Espera
	Comunizar componentes em geral.	Excesso de inventário

FONTE: Elaborado pelo autor

As tabelas 1 a 6 e quadro 3 fornecem uma visão geral das médias dos resultados obtidos com as entrevistas. Como pode ser observado, de acordo com a opinião dos respondentes, as diretrizes avaliadas não se relacionam com somente um dos sete desperdícios, uma vez que na maior parte das vezes, todas as diretrizes receberam pesos para todos os desperdícios. Através dos pesos atribuídos para a relação entre diretrizes a desperdícios evitados, verificou-se que, ao aplicar-se a maior parte das diretrizes, podem-se evitar vários desperdícios, porém com “intensidades” diferentes. Esta intensidade pode ser observada na média de pesos atribuída para a relação diretriz versus desperdício.

Observa-se também que poucas foram as diretrizes que receberam peso menor do que seis para sua relação com algum desperdício. Isto mostra que os respondentes acreditam na contribuição de todas as diretrizes, para evitar todos os desperdícios.

Como era esperado, algumas diretrizes receberam pesos máximos (iguais) para dois desperdícios (ver tabelas 4 e 5), reforçando a aplicabilidade das diretrizes ao combate de mais de um desperdício.

O fato de boa parte das relações ter apresentado médias que se situaram entre 8 e 9, mostrou que, sob o ponto de vista dos respondentes, as diretrizes submetidas a esta classificação, podem ser utilizadas com o intuito de minimizar a maior parte dos sete desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta.

Como o objetivo do estudo é obter um conjunto estruturado de diretrizes que contribuam diretamente com o desenvolvimento de produtos inseridos dentro do

contexto da Manufatura Enxuta, optou-se por estabelecer uma relação direta entre diretrizes e desperdícios. O critério adotado foi a escolha da maior média de pesos para a relação diretriz versus desperdício, de forma que o desperdício mais fortemente evitado pela diretriz seria o desperdício evitado por ela.

Na maioria das vezes, as diretrizes evitam outros desperdícios além daqueles com os quais elas estão relacionadas. No entanto, uma matriz que mostre uma relação direta entre desperdícios e diretrizes que mais contribuem para evitá-los pode facilitar muito a tarefa do projetista.

Como exemplo, a diretriz “Peças com menor grau de complexidade podem reduzir necessidades de ajustes, trocas de ferramentas e medições de controle em processos de estampagem” encontra sua maior média de pesos com o desperdício “movimentações desnecessárias”. Assim este desperdício é o principal desperdício evitado por esta diretriz, de acordo com o resultado da pesquisa aplicada.

A relação direta entre as diretrizes e os respectivos desperdícios evitados pode ser vista nos quadros 4 a 10.

QUADRO 4 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE USINAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Defina tolerâncias capazes de serem atingidas dentro da capacidade da primeira operação de usinagem.	Superprocessamento e processamento incorreto
Sempre que possível, elimine etapas de usinagem.	Superprocessamento e processamento incorreto
Sempre que possível, utilize medidas de usinagem disponíveis comercialmente, a fim diminuir operações de usinagem.	Superprodução
Especificar chapas laminadas a frio a fim de obter boa qualidade de acabamento e tolerâncias mais apertadas.	Superprocessamento e processamento incorreto
Utilizar espessura mais fina possível.	Superprocessamento e processamento incorreto
Utilizar seções simples a fim de economizar conformações.	Superprodução
Utilizar tipos de aço inox especificamente destinados a processos de manufatura, como os livres de níveis de usinagem.	Superprocessamento e processamento incorreto

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 5 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE ESTAMPAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Escolher chapas que possam ser facilmente armazenadas em conjunto, como as em formato de “L” ao invés das de “T.”	Superprocessamento e processamento incorreto
Projetar peças cujos retalhos sejam grandes suficientes para formar outra peça	Defeitos
Evitar cantos vivos quebradiços.	Superprocessamento / processamento incorreto
Especificar furos redondos ao invés de outros formatos (quadrados; oblongos; etc.).	Defeitos
Especificar o furo de forma a fazê-lo antes da conformação.	Defeitos
Especificar alívios, a fim de evitar distorções.	Defeitos

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 6 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE SOLDAGEM POR ARCO E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Sempre que possível, disponibilize espaço para o bocal usinagem (soldas MIG e MAG)	Espera
Sempre que possível, prefira seccionar grandes cordões de solda em vários cordões menores, a fim de economizar material e tempo de soldagem.	Defeitos
Sempre que possível, permitir que a soldagem seja efetuada na horizontal, por ser a posição mais rápida e conveniente de acordo com as técnicas de soldagem.	Superprocessamento / processamento incorreto
Busque garantir um bom encaixe das peças unidas, evitando distorções.	Defeitos
Sempre que possível, evite especificar soldagens em regiões que posteriormente sofrerão processos de usinagem, sob pena de gerar esforço de corte excessivo devido ao tratamento térmico causado pela solda.	Defeitos
Caso o conjunto soldado seja muito grande, prefira dividi-lo em partes menores. Proporcionando posições de soldagem adequadas (horizontais) e que o bocal tenha acesso aos pontos de soldagem na maior parte das vezes.	Movimentações desnecessárias
Sempre que possível, utilize chapas mais grossas quando distorções forem indesejáveis.	Defeitos

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 7 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE SOLDA A PONTO E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Sempre que possível, defina pontos de soldagem opostos umas às outras, a fim de evitar distorções.	Defeitos
Se for necessário unir mais de duas chapas por vez, procure fazer recortes na área soldada, de forma que cada ponto de solda una somente duas chapas, a fim de evitar pontos de solda enfraquecidos.	Defeitos / Superprocessamento e processamento incorreto
Sempre que possível, preveja dobras das bordas soldadas, a fim de obter maior resistência do conjunto soldado.	Superprocessamento e processamento incorreto
Evitar pontos de solda muito próximos a fim de impedir que ocorra fuga de corrente pelo ponto de solda anterior e mais próximo.	Superprodução / Defeitos
Procure evitar grandes espaçamentos de pontos de solda, a fim de garantir rigidez suficiente do conjunto soldado.	Defeitos

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 8 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DE MONTAGEM E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Substituir uniões parafusadas por fixações de encaixe.	Superprocessamento e Processamento incorreto
Incorporar elementos em uma única peça, tais como guias, rolamentos, e coberturas.	Superprodução
Sempre que possível, agrupe componentes elétricos e eletrônicos em um local único, consolidando o máximo possível.	Movimentações desnecessárias
Tente combinar parafusos e arruelas em um elemento único.	Movimentações desnecessárias
Substituir furos usinados, porcas e arruelas, por parafusos auto-atarrachantes.	Movimentações desnecessárias
Substituir uniões parafusadas por uniões rebitas.	Superprocessamento e processamento incorreto / Movimentações desnecessárias
Sempre que possível, utilize parafusos e outros elementos padronizados, de forma a reduzir a quantidade de variantes de peças	Excesso de inventário / Movimentações desnecessárias
Utilizar componentes modulares pré-montados sempre que possível.	Superprodução / Movimentações desnecessárias
Evitar o uso de elevado nível de pré-montagens ao mesmo tempo, de forma a evitar acúmulo excessivo de material “em trabalho” armazenado em etapas intermediárias	Superprodução
Utilizar poka-yokes no projeto de peças, de forma a impedir montagens incorretas	Superprodução
Projetar peças que se auto-orientem durante a montagem.	Movimentações desnecessárias
Eliminar necessidade de ajustes sempre que possível.	Defeitos
Evitar projetar peças que devam ser manuseadas manualmente, sem auxílio de equipamentos (podendo acarretar perdas e problemas de qualidade).	Defeitos
Padronizar o maior número de peças e elementos de fixação (parafusos, porcas, clips, etc.) possível.	Movimentações desnecessárias

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 9 - RELAÇÃO DE DIRETRIZES DFML PARA PROCESSOS DIVERSOS (LEVANTADOS PELO AUTOR) E DESPERDÍCIOS EVITADOS

Características Desejáveis	Desperdício Evitado
Peças com menor grau de complexidade podem reduzir necessidades de ajustes, trocas de ferramentas e medições de controle em processos de estampagem.	Movimentações desnecessárias
Correta especificação da espessura de grandes peças estampadas (laterais, portas, etc.), reduz a quantidade de defeitos destas peças.	Defeitos
Peças estampadas com maior grau de complexidade reduzem o número de pontos de ancoragem no processo de soldagem, bem como número de pontos de solda e a necessidade de verificações de qualidade.	Defeitos
Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribuem para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos de conjuntos montados (montagem final de veículos).	Defeitos
Comunicação de elementos de fixação (parafusos; rebites; etc.), reduzem inventário, espaço de armazenamento na linha de montagem e o tempo gasto pelo operador para encontrar a peça correta.	Excesso de inventário / movimentações desnecessárias
Sempre que possível, evite operações de pré-montagem (pré-apertos; posicionamentos; etc.).	Movimentações desnecessárias

FONTE: Elaborado pelo autor

QUADRO 10 - DESEJOS E SUGESTÕES NA OPINIÃO DOS RESPONDENTES CONVERTIDOS EM DIRETRIZES

Desejos e Sugestões na Opinião dos Respondentes	Desperdício Evitado
Utilizar indicações que facilitem a montagem (Ex.: marcações em tubos que indicam a posição de montagem em grampos).	Defeitos
Busque simplificar o projeto do produto (de forma a poder ser dividido em peças menores, facilitando o balanceamento)	Espera
Procure comunicar componentes em geral	Excesso de inventário

FONTE: Elaborado pelo autor

O quadro 10 relaciona os desejos e sugestões na opinião dos espondentes convertidos agora em diretrizes DFLM. Esta conversão foi feita pelo autor com base na sua experiência

3.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tratou do processo de levantamento e classificação de diretrizes de apoio ao desenvolvimento de produtos, de forma a contribuir com a Manufatura Enxuta.

Os resultados deste levantamento e classificação permitiram obter uma relação estruturada, na forma de um conjunto de diretrizes (na sua grande maioria retiradas da literatura), que quando aplicadas durante as fases de projeto conceitual e detalhado, permitem evitar que determinados desperdícios ocorram na etapa de manufatura.

Este conjunto organizado de diretrizes permite que os projetistas, ainda nestas etapas, tomem decisões que propiciem a implantação de um processo de manufatura com menos desperdícios.

Além disso, este conjunto de diretrizes de suporte ao processo de desenvolvimento, agora estruturado sob a ótica da Manufatura Enxuta, permite até mesmo o reprojetado de produtos, com o intuito de minimizar alguns desperdícios ocorridos durante determinados processos de manufatura.

No próximo capítulo, será realizada uma verificação de parte das diretrizes. Esta verificação se dará através da simulação de modificações de componentes de um produto (veículo produzido em uma indústria automotiva), através da aplicação de parte das diretrizes propostas.

4 VERIFICAÇÃO DAS DIRETRIZES

No Capítulo 3 - Levantamento das Diretrizes DFLM - foi elaborada uma relação de diretrizes de suporte ao desenvolvimento de produtos que contribuem com a Manufatura Enxuta.

O presente capítulo tem como principal meta verificar a aplicação de parte destas diretrizes durante a observação do reprojeto de alguns componentes de um veículo.

Conforme mencionado no Capítulo 1, foi definido que o campo de estudo seria a linha de montagem final de uma indústria automotiva. Pela facilidade do autor em acessar dados dos produtos da empresa onde desenvolve suas atividades como engenheiro, este é o ambiente apropriado para os estudos de verificação. Assim, esta etapa consiste de um caso prático, em que parte das diretrizes levantadas no Capítulo 3 será utilizada, com o intuito de verificar se as mesmas agregam valor ao processo de manufatura depois do produto redesenhado.

Como as diretrizes levantadas no Capítulo 3 têm aplicações em processos de usinagem, estampagem, soldagem e montagem, a fim de viabilizar o estudo dentro do tempo e recursos disponíveis, optou-se por restringir a etapa de verificação ao ambiente de montagem final. A fim de verificar a contribuição de parte das diretrizes levantadas no Capítulo 3, este capítulo terá início com uma pequena introdução a respeito do estudo de tempos e da ferramenta MTM⁷ utilizada neste estudo, para então definir as operações de montagem utilizadas no processo de verificação. Finalmente será apresentada a aplicação das diretrizes para os componentes montados nas operações selecionadas, encerrando com as considerações finais.

A sequência de trabalho adotada para a verificação das diretrizes obedecerá à seguinte sequência:

- 1) Estudo de tempos;
- 2) Escolha das operações para verificação;
- 3) Aplicação das diretrizes;
- 4) Considerações finais.

⁷ MTM – *Methods-time measurement* (The UK MTM Association, 2000).

4.1 ESTUDO DE TEMPOS

Para Rocha (1987), “o estudo de tempos objetiva conhecer o tempo necessário para o desenvolvimento de um trabalho, e, portanto, avaliar a eficiência operativa”.

O mapeamento de tempos de montagem (que selecionará as operações de montagem que compreendem os componentes modificados de acordo com as diretrizes DFLM) será realizado com a ajuda da ferramenta MTM, por ser uma ferramenta mundialmente difundida, e que fornece resultados confiáveis e precisos.

A empresa em que se fará o desenvolvimento do presente estudo utiliza uma ferramenta conhecida por tempos de montagem padrões (também conhecidos como tempos padrão), para determinadas operações de montagem. Praticamente toda a sorte de operações de montagem tem um tempo de montagem padrão. Estes tempos são disponibilizados em uma tabela que relaciona operações de montagem padrão com seus respectivos tempos de montagem ideais (obtidos através de adaptações de medidas de tempos levantadas através do MTM), desconsiderando tempos gastos com pré-montagens, ajustes, posicionamentos, etc. Estes tempos de operações padrões se referem a tempos gastos com acréscimo de valor somente e servem para se ter uma idéia do tempo ideal de montagem do veículo ainda na fase de desenvolvimento.

De posse dos Tempos Padrão (considerados tempos de montagem ideais) e dos tempos MTM (que chamaremos tempos de montagem reais) obtidos através das medições, é possível realizar uma comparação direta entre os dois tempos e identificar as operações que apresentam as maiores diferenças (discrepâncias).

Para esta etapa do processo, as operações que apresentarem as maiores diferenças entre os Tempos de Operações Padrão e os Tempos MTM, serão as operações eleitas para terem seus componentes modificados através aplicação de diretrizes de *Design for Lean Manufacturing* (DFLM). Feito isso, será realizada uma verificação do mesmo processo de montagem, agora considerando os componentes modificados através da aplicação de parte das diretrizes DFLM obtidas no Capítulo 3, a fim de obter os novos tempos MTM (reais). O sucesso do estudo se verificará na

medida em que, os tempos MTM obtidos com a verificação, se aproximam ou não dos Tempos de Operações Padrão.

4.1.1 Methods Time Measurement - MTM

De acordo com Maynard (1970), o MTM é um sistema de tempos pré-determinados, que procura discernir os micro-movimentos do operador e atribui a eles o tempo total de uma operação completa. Conforme definição dos próprios autores do sistema, o *Methods Time Measurement* é um procedimento que analisa qualquer operação manual ou método nos movimentos básicos necessários para executá-la, e atribui a cada movimento um tempo padrão pré-determinado, o qual é determinado pela natureza do movimento e condições sob as quais ele é realizado. *Methods Time Measurement* evidencia que o tempo necessário para executar uma determinada operação depende do método aplicado.

O método MTM básico é definido da seguinte maneira:

O MTM é um método destinado a estruturar seqüências de movimentos em movimentos básicos. A cada movimento básico é atribuído o valor de um tempo padrão, que é pré-determinado em função de fatores que influem sua composição. (ASSOCIAÇÃO MTM DO BRASIL, 2007)

De acordo com a Associação MTM do Brasil, o método MTM apresenta seguintes restrições:

- 1) Por definição o MTM trata de procedimentos nitidamente influenciáveis (manuais). Tempos que podem ser influenciados sob determinadas condições e tempos de procedimentos não influenciáveis (processos) são cronometrados ou calculados.
- 2) O tempo padrão desconsidera tempos de distribuição e recuperação.

O MTM é uma ferramenta mundialmente utilizada, e sua forma de aplicação segue rígidos padrões dependendo da qualidade dos resultados desejados. Os tempos medidos através da utilização do MTM e cronometragem são resultados da aplicação destas ferramentas conforme procedimentos estabelecidos pela empresa

onde o estudo foi desenvolvido. Por não ser o foco central do presente estudo, detalhes do processo de obtenção dos tempos serão omitidos.

4.2 ESCOLHA DAS OPERAÇÕES PARA VERIFICAÇÃO

Determinada a etapa do processo de montagem (ilustrada na figura 15) que servirá de base para a verificação, partiu-se para a escolha das operações utilizadas para a verificação das diretrizes DFLM.

O ponto de partida para a determinação destas operações é o mapeamento dos tempos MTM (tempos reais), bem como o mapeamento dos tempos padrões das operações compreendidas pela etapa do processo de montagem escolhida. De posse destas informações, é possível verificar as operações que apresentam as maiores discrepâncias entre tempos reais e tempos padrão.

Como as linhas de montagem são normalmente divididas em postos de montagem, será adotada a mesma prática na condução deste estudo. Desta forma, ilustram-se somente os postos de trabalho que compreendem as operações escolhidas para terem seu tempo de montagem reduzido, por meio de modificações no produto.

A figura 15 ilustra a etapa do processo de montagem escolhida para o estudo e os postos de montagem com seus respectivos tempos totais de montagem (reais e padrão). Esta etapa do processo de montagem compreende ao todo dez postos de trabalho. No entanto foram escolhidos somente dois postos de trabalho, por oferecerem maior potencial de ganho produtivo através de modificações da concepção do produto, ilustrados na figura 15.

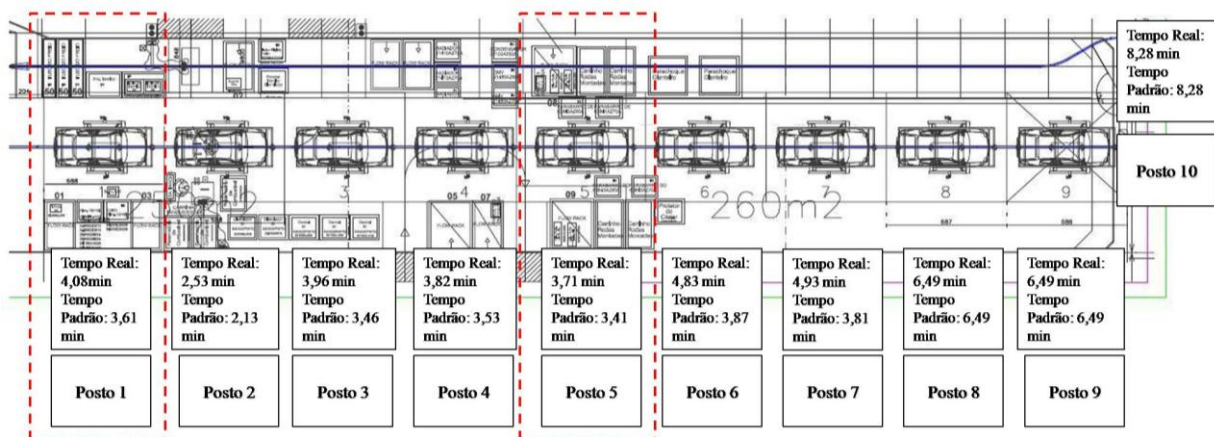


FIGURA 15 - TEMPOS REAL E PADRÃO DOS POSTOS DE MONTAGEM COMPREENDIDOS PELA ETAPA DE PROCESSO ESCOLHIDA

FONTE: Elaborado pelo autor

Em um primeiro momento os postos oito e nove representam as maiores restrições de processo, uma vez que seus tempos real e padrão são os maiores. No entanto, por ali se concentrarem muitas operações de enchimentos de fluidos e de validação, tanto os tempos real quanto padrão permitem ser adequados. Além disso, parte das atividades de validação pode ser remanejada para um dos postos anteriores, permitindo uma diminuição do tempo dos tempos dos postos. Além disso, estas atividades não oferecem grande potencial de ganho através de modificações de produto.

Os tempos de operação dos postos seis e sete apresentam as maiores diferenças entre os tempos real e teórico: 0,96 min e 1,12 min respectivamente. No entanto, esta diferença se deve basicamente pelo sistema de parafusamento adotado, que requer uma série de pré-rosqueamentos. Além disso, as fixações são realizadas através de uma série de torques distintos e próximos que poderiam ser padronizados.

Dessa forma optou-se pela escolha dos postos um e cinco, por serem didaticamente mais interessante, permitindo a aplicação de algumas das diretrizes levantadas no capítulo 3.

As tabelas 7 e 8 relacionam as operações dos dois postos de montagem (um e cinco) que compreendem as operações escolhidas para o estudo, bem como seus respectivos tempos reais e padrão. As operações destacadas em negrito são as que apresentam maior discrepância entre os tempos reais e padrão, e que conseqüentemente são eleitas para o estudo.

TABELA 7 - RELAÇÃO DE OPERAÇÕES E TEMPOS REAIS E PADRÕES – POSTO 1

Posto de Montagem	Operação	Tempo Real (min)	Tempo Padrão (min)
Posto 1	CARIMBAR CARTÃO DE CONTROLE	0,08	0,08
	APLICAR GRAXA NA DOBRADIÇA DO CAPÔ	0,08	0,08
	ZIPAR CÓDIGO DE BARRAS DA CARTA D'AYLE	0,05	0,05
	CONECTAR SENSOR O2	0,11	0,07
	POSICIONAR O VOLANTE NO VEÍCULO	0,05	0,03
	RETIRAR ETIQUETA DE GRAVAÇÃO DOS VIDROS DA IMPRESSORA	0,1	0,1
	RETIRAR ETIQUETA VIS E PLACA CONSTRUTORA DA IMPRESSORA	0,1	0,1
	MONTAR BUCHAS NA TRAVESSA INFERIOR DO PARA-BRISA	0,2	0,2
	MONTAR BUCHA QUADRADA NA TRAVESSA INFERIOR DO PARA BRISA	0,05	0,05
	MONTAR CALÇO DE APOIO DO PARA -BRISA LADO ESQUERDO	0,05	0,05
	MONTAR PROTETOR DA CABLAGEM ESQUERDA NA CAIXA DE AR	0,19	0,19
	COLAR PLACA CONSTRUTORA NA COLUNA B LADO ESQUERDO	0,16	0,16
	POSICIONAR CHAPA VEDANTE NO HABITÁCULO DA ALAVANCA DE CÂMBIO	0,14	0,14
	POSICIONAR COBERTURA DO ASSOALHO NO OBTÁCULO DA ALAVANCA DE CAMBIO	0,11	0,11
	POSICIONAR ISOLADOR SOBRE COBERTURA DO ASSOALHO	0,11	0,11
	ENCAIXAR ESPUMA CONE NA ALAVANCA DE CÂMBIO	0,04	0,04
	MONTAR PROTETOR DA CABLAGEM DIANTEIRA DIREITA NA CAIXA DE AR	0,2	0,17
	COLAR ETIQUETA VIS NO ASSOALHO DO PASSAGEIRO	0,12	0,12
	BLOQUEAR CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS NO HABITÁCULO DO VEÍCULO	0,75	0,53
	ENCAIXAR CARPET NO ASSOALHO DIANTEIRO	0,24	0,24
	MONTAR CONSOLE INTERMEDIÁRIO NO PAINEL	0,2	0,2
	MONTAR CONSOLE CENTRAL NO VEÍCULO	0,72	0,56
	PEGAR MIOLO DA CHAVE DO PORTA LUVA E DEPOSITAR DENTRO DA CAÇAMBA	0,08	0,08
	CLIPSAR CHICOTE DA BATERIA NO SUPORTE LATERAL DA CAIXA BIM	0,15	0,15
	TEMPOS TOTAIS	4,08	3,61

FONTE: Elaborado pelo autor

TABELA 8 - RELAÇÃO DE OPERAÇÕES E TEMPOS REAIS E PADRÕES – POSTO 5

Posto de Montagem	Operação	Tempo Real (min)	Tempo Padrão (min)
Posto 5	COLOCAR ADAPTADOR NO BOCAL DO RESERVATÓRIO DE ARREFECIMENTO	0,16	0,16
	ACIONAR BOTÃO E FAZER ENCHIMENTO NO CIRCUITO DE ARREFECIMENTO	0,05	0,05
	ENCAIXAR MOLDURA LATERAL DIREITA NO PARA-BRISA	0,1	0,1
	RETIRAR ACOPLADOR DO RESERVATÓRIO DE FREIO	0,06	0,06
	RETIRAR TOMADA ABS	0,08	0,08
	CONECTAR CHICOTE NO BLOCO ABS	0,12	0,12
	FECHAR O RESERVATÓRIO COM A TAMPA	0,08	0,08
	CSR - COLAR ETIQUETA VIS NA COLUNA B LADO DIREITO	0,1	0,1
	COLAR PLACA CONSTRUTORA NA COLUNA B LADO DIREITO	0,12	0,12
	COLAR ETIQUETA DE EMISSÃO DE GASES NA COLUNA LADO DIREITO	0,08	0,08
	COLAR ETIQUETA VIS NO PAINEL DO COFRE DO MOTOR	0,1	0,1
	FIXAR MOLDURA LATERAL DIREITA NO PARA-BRISA	0,3	0,3
	FIXAR BOCAL DO TANQUE NA CARROCEIRA	0,35	0,15
	CLIPSAR 3 OBTURADORES NO OVER FENDER TRASEIRO DIREITO	0,15	0,15
	CLIPSAR 3 OBTURADORES NO OVER FENDER DIANTEIRO DIREITO	0,15	0,15
	RETIRAR ACOPLADOR DO BOCAL LIQUIDO DE ARREFECIMENTO	0,15	0,15
	FAZER ENCHIMENTO RESERVATÓRIO REFRIGERAÇÃO DO MOTOR	0,05	0,05
	ENCHER DE ÁGUA NO RESERVATÓRIO LAVA VIDROS	0,25	0,25
	POSICIONAR MANOPLAS DA ALAVANCA DE CÂMBIO NO INTERIOR DO VEÍCULO	0,06	0,06
	APLICAR GRAXA NA MOLA DA TAMPA DO TANQUE	0,08	0,08
	MONTAR REVESTIMENTO DO ESTRIBO DIREITO	0,28	0,28
	MONTAR MOLDURA NO PAINEL	0,32	0,26
	FIXAR PARAFUSO NO CONSOLE LADO DIREITO	0,12	0,12
	FIXAR CONSOLE INTERMEDIÁRIO LADO DIREITO	0,18	0,18
	MONTAR COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS NA ALAVANCA DO CÂMBIO	0,22	0,18
	TEMPOS TOTAIS	3,71	3,41

FONTE: Elaborado pelo autor

4.3 APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES

A aplicação das diretrizes de DFLM para as operações destacadas no tópico anterior ocorrerá separadamente para cada um dos dois postos de trabalho, que compreendem as operações selecionadas para estudo.

4.3.1 Verificação das operações do Posto 1

A operação do posto um escolhida para o processo de verificação, aparece relacionada na tabela 9, abaixo.

TABELA 9 - OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA VERIFICAÇÃO - POSTO 1

OPERAÇÃO	TEMPO REAL (min)	TEMPO PADRÃO (min)
FIXAR CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS NO HABITÁCULO DO VEÍCULO	0,75	0,53

A operação de fixação de conjunto de chapas isoladoras do console central é ilustrada na figura 16.

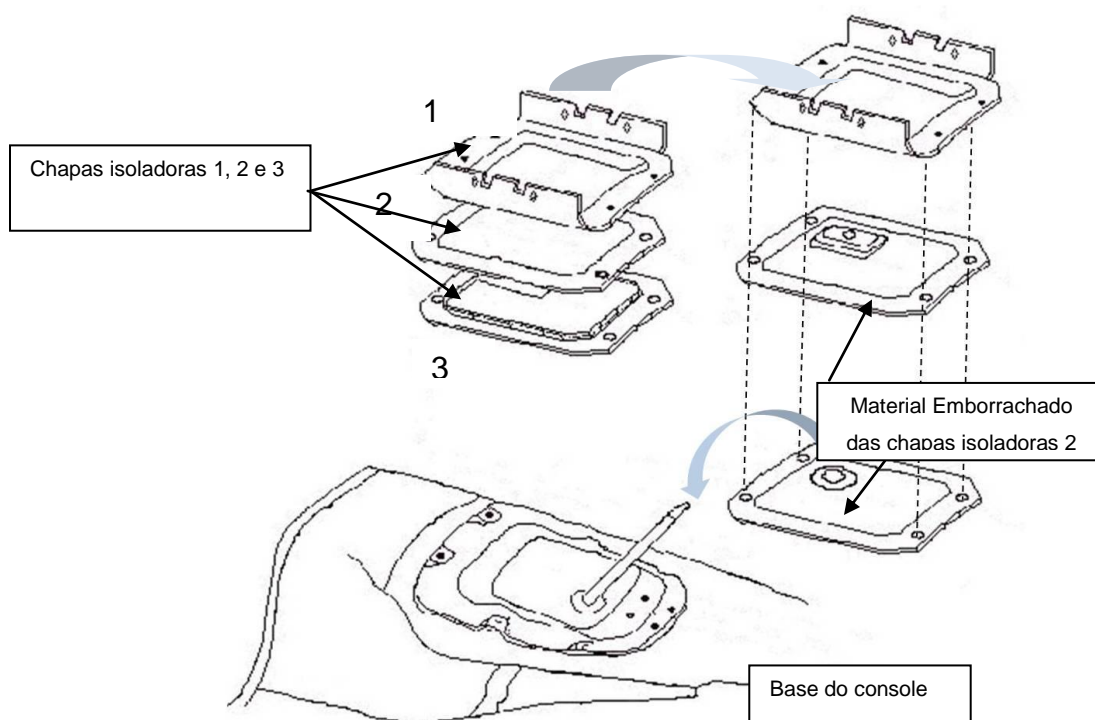


FIGURA 16 - MONTAGEM DO CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS DA BASE CONSOLE CENTRAL DO VEÍCULO ANTES DA MODIFICAÇÃO – MODELO 4X2

FONTE: Elaborado pelo autor

A operação de montagem e fixação do console central é realizada em todos os modelos do veículo montado. Contudo as chapas isoladoras dois e três, mudam de acordo com o modelo, que basicamente se resumem a veículos com tração 4X2 e veículos com tração 4X4. Estas chapas isoladoras e suas diferenças estão ilustradas na figura 17.

Ao analisar de forma mais detalhada a operação de montagem do conjunto de chapas isoladoras ilustrada pela figura 16, percebem-se algumas operações que não agregam valor ao processo, como:

- 1) Inventário adicional para manter quatro peças no estoque, que poderiam ser reduzidas pela metade, uma vez que as chapas isoladoras dois e três do modelo 4X2 têm a mesma função das chapas isoladoras dois e três do modelo 4X4;
- 2) Deslocamento excessivo do operador para escolher qual peça montar dependendo do modelo produzido;
- 3) Esforço adicional e tempo gasto para encontrar a correta posição das chapas isoladoras, para permitir sua fixação através de quatro parafusos.

Isto porque o operador deve unir três chapas isoladoras à base do console de uma só vez. Como as chapas isoladoras não são dotadas de nenhuma guia de auxílio, elas facilmente se desalinham, dificultando a passagem dos parafusos;

- 4) Defeitos acarretados pela má fixação das chapas isoladoras. Isto porque uma série de acabamentos, além da própria alavanca de mudanças, é montada sobre estas chapas isoladoras, podendo gerar ruídos e vibrações depois de o carro pronto.

De forma análoga, estes desperdícios podem ser relacionados com alguns dos sete desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta, respectivamente:

- 1) Excesso de inventário;
- 2) Movimentações desnecessárias;
- 3) Superprocessamento e processamento incorreto;
- 4) Defeitos.

Através do quadro 8 (relação de diretrizes DFML para processos de montagem e desperdícios evitados) as diretrizes mais indicadas para se combater estes desperdícios foram relacionadas.

Na sequência cada subitem será dedicado ao tratamento dado a cada um dos defeitos relacionados.

4.3.1.1 Excesso de Inventário

Para se combater excesso de inventário, as diretrizes mais aplicáveis a este caso são:

- 1) Sempre que possível, utilize parafusos e outros elementos padronizados, de forma a reduzir a quantidade de variantes de peças;
- 2) Procure comunizar componentes em geral.

As duas diretrizes apontam para a redução do número de componentes variantes, sendo que a primeira é mais voltada aos elementos de fixação. O primeiro passo deve ser a identificação dos elementos que exercem a mesma função, e que apresentam diversidades, conforme o modelo.

Os únicos componentes que apresentam diversidades são as chapas isoladoras 2 e 3, que variam conforme a tração do veículo (4X2 e 4X4), como ilustra a figura 17. Esta diversidade existe em função do custo adicional das chapas isoladoras 2 e 3 do modelo 4X4, que apresentam mais um furo, para a passagem da alavanca de acionamento da tração integral. Assim, a melhor opção é tentar unificar as peças, a um custo admissível para atender aos dois modelos.

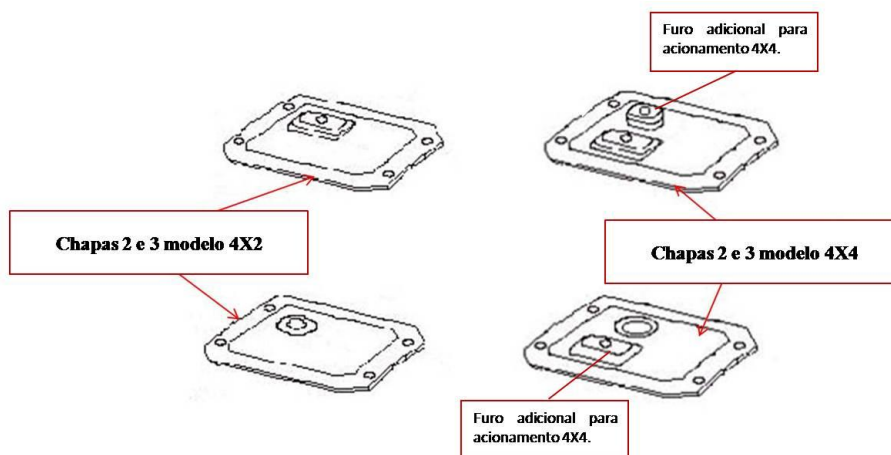


FIGURA 17 - DIFERENÇAS ENTRE AS CHAPAS ISOLADORAS 2 E 3, MODELOS 4X2 E 4X4

FONTE: Elaborado pelo autor

A proposta de unificação das chapas isoladoras 2 e 3 dos modelos 4X2 e 4X4 pode ser vista na figura 18.

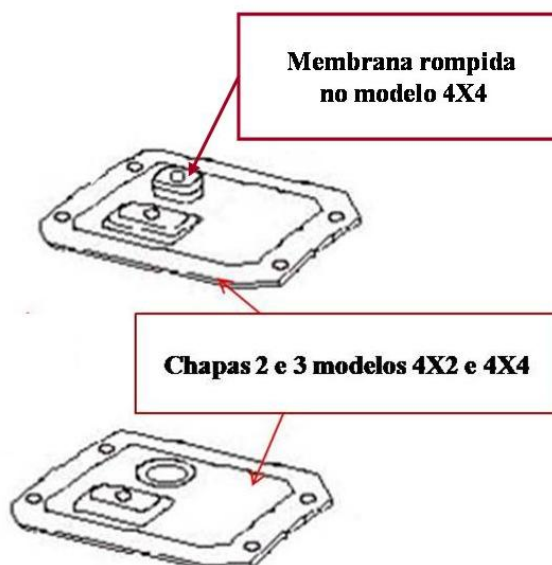


FIGURA 18 - CHAPAS ISOLADORAS 2 E 3 UNIFICADAS PARA OS MODELOS 4X2 E 4X4

FONTE: Elaborado pelo autor

A função exercida pelas chapas isoladoras é a de impedir a entrada de poeira no interior da cabine, através do mecanismo de mudança de marchas. Os furos existentes na parte emborrachada permitem a passagem das alavancas de mudança, que por sua vez veda os furos quando o conjunto é montado.

Ao unificar as chapas isoladoras 4X2 e 4X4 em um único modelo, existe a necessidade de se manter o furo de acionamento da alavanca 4X4, quando um modelo 4X2 for montado. A alternativa encontrada até o momento é a de se manter uma membrana no furo por onde passa a alavanca 4X4, de forma que ela seja automaticamente rompida, quando a chapa for montada sobre esta alavanca, como ilustra a figura 19.

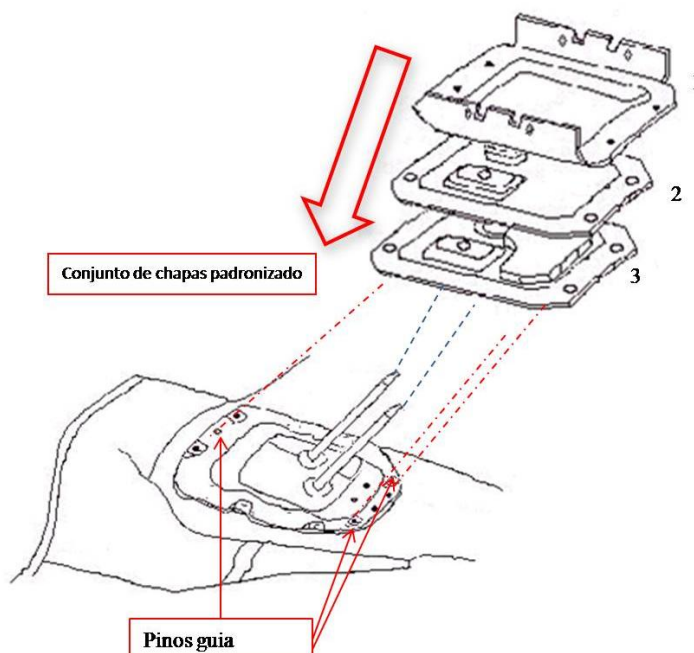


FIGURA 19 - CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS UNIFICADO, MONTADO EM UM CONSOLE DE VEÍCULO 4X4

FONTE: Elaborado pelo autor

Antevendo a necessidade de se eliminar ajustes, a unificação proposta na figura 19, prevê a inclusão de pinos guia a fim de facilitar o posicionamento das chapas isoladoras no console.

4.3.1.2 Movimentações Desnecessárias

A fim de minimizar movimentações desnecessárias, as diretrizes que mais se aplicam são:

- 1) Utilize componentes modulares pré-montados sempre que possível;
- 2) Padronize o maior número de peças e elementos de fixação (parafusos, porcas, cliques, etc.) possível.
- 3) Projete peças que se auto-orientem durante a montagem.

A fim de aplicar a primeira diretriz, é necessário identificar os componentes que necessitam de pré-montagem, formando um subconjunto, antes de sua montagem no produto final. As chapas isoladoras 1,2 e 3, ilustradas na figura 19, são agrupadas, antes de serem fixas no console central do veículo. Uma vez que elas não apresentam diversidades, por terem sido padronizadas, agora podem ser unificadas em um único componente. A figura 19 ilustra o conjunto de chapas unificado sendo montado em um console modelo 4X4, uma vez que as chapas isoladoras são idênticas para o modelo 4X2.

A inclusão de pinos-guia (ilustrados na figura 20) minimiza muito a necessidade de orientação da peça montada, por parte do operador.

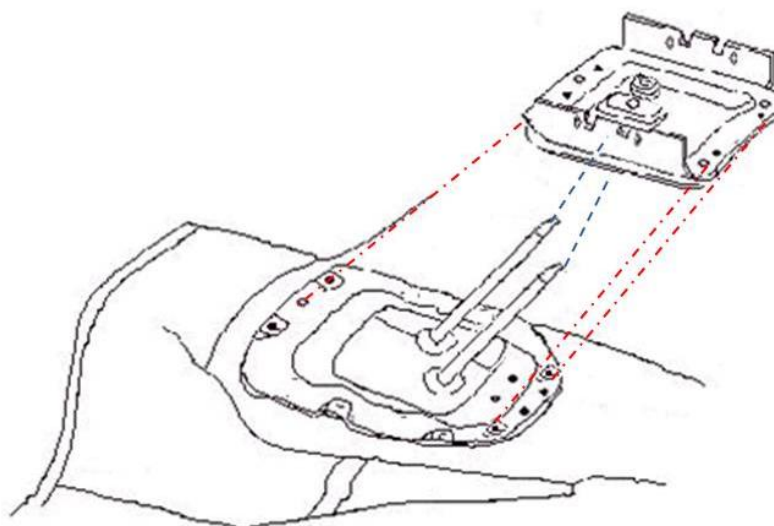


FIGURA 20 - UNIFICAÇÃO DAS CHAPAS ISOLADORAS – MODELO 4X4

FONTE: Elaborado pelo autor

4.3.1.3 Superprocessamento e Processamento Incorreto

Para se combater o superprocessamento e processamento incorreto, as diretrizes sugeridas pelo quadro 8, são:

- 1) Substituir uniões parafusadas por fixações de encaixe;
- 2) Substitua uniões parafusadas por uniões rebitadas.

Por se tratar de componentes que podem vir a ser removidos para manutenção, e devido à elevada necessidade de se garantir a estanqueidade (impedir entrada de poeira e água), e também devido à vibração sofrida pelo conjunto, a melhor opção ainda é a fixação por parafusamento. Assim, nenhuma destas diretrizes terá aplicação neste caso.

4.3.1.4 Defeitos

Por fim a quadro 8 sugere as seguintes diretrizes DFLM para se combater defeitos durante a etapa de montagem:

- 1) Eliminar a necessidade de ajustes sempre que possível;
- 2) Evitar peças que devam ser manuseadas, sem auxílio de equipamentos (podendo acarretar perdas e problemas de qualidade);

A inclusão de pinos-guia diminui a necessidade de ajustes da chapa isoladora, agora unificada, facilitando a sua orientação, como mostra a figura 20.

A segunda diretriz implica na necessidade de investimentos. Dependendo da cadência e volume de produção, pode ser interessante a adoção de sistemas automatizados de montagem, que entre outras coisas visam a montagem de determinados componentes de forma automática. Por se tratar de uma linha de montagem de veículos utilitários, com baixa cadência, esta diretriz não é financeiramente viável.

4.3.1.5 Resultados obtidos

A tabela 10 mostra o comparativo entre o tempo real e padrão, após a aplicação das quatro diretrizes DFLM.

TABELA 10 - TEMPO DE MONTAGEM REAL APÓS APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DFL

OPERAÇÃO	TEMPO REAL (min)	TEMPO PADRÃO (min)
FIXAR CONJUNTO DE CHAPAS ISOLADORAS NO HABITÁCULO DO VEÍCULO	0,57	0,53

FONTE: Elaborado pelo autor

4.3.2 Verificação das Operações do Posto 5

A tabela 11 mostra a operação do posto cinco escolhida para o processo de verificação, bem como seus respectivos tempos real e padrão.

TABELA 11 - OPERAÇÃO ESCOLHIDA PARA VERIFICAÇÃO - POSTO 5

OPERAÇÃO	TEMPO REAL (min)	TEMPO PADRÃO (min)
MONTAR COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS NA ALAVANCA DO CÂMBIO	0,22	0,18

FONTE: Elaborado pelo autor

A montagem da coifa da alavanca de mudanças no console central é ilustrada na figura 21.

Observando o processo de montagem da coifa da alavanca de mudanças, percebem-se dois desperdícios:

- 1) Movimentações desnecessárias para encontrar a correta posição de encaixe da coifa da alavanca de mudanças no console central;
- 2) Defeito causado pela dificuldade de ajuste da coifa da alavanca de mudanças, durante montagem no console central.

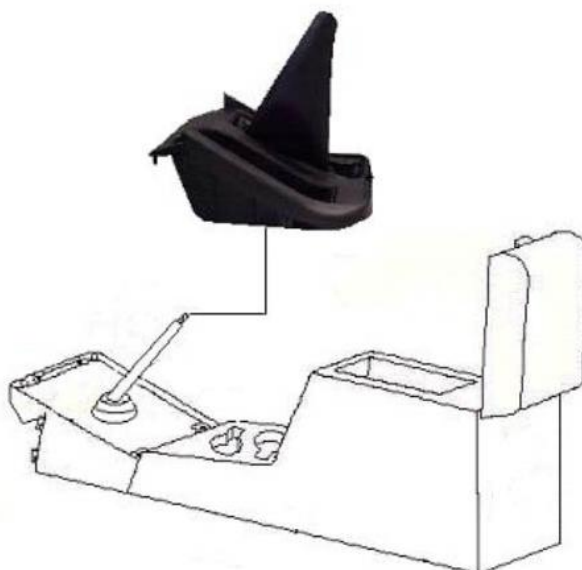


FIGURA 21 - MONTAGEM DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS

FONTE: Elaborado pelo autor

4.3.2.1 Movimentações desnecessárias para encontrar a correta posição de encaixe da coifa da alavanca de mudanças no console central

Voltando ao quadro 8, encontram-se as seguintes diretrizes para combater movimentações desnecessárias na etapa de montagem:

- 1) Sempre que possível, agrupe componentes elétricos e eletrônicos em um local único, consolidando o máximo possível;
- 2) Tente combinar parafusos e arruelas em um elemento único;
- 3) Substitua furos usinados, porcas e arruelas, por parafusos auto-atarrachantes;
- 4) Substitua uniões parafusadas por uniões rebitadas;
- 5) Sempre que possível, utilize parafusos e outros elementos padronizados, de forma a reduzir a quantidade de variantes de peças;
- 6) Utilize componentes modulares pré-montados sempre que possível;
- 7) Projete peças que se auto-orientem durante a montagem;
- 8) Padronize o maior número de peças e elementos de fixação (parafusos, porcas, cliques, etc.) possível;

A única diretriz aplicável neste caso é o “projeto de peças que se auto-orientem durante a montagem”, pois as demais diretrizes não são aplicáveis a este tipo de montagem, por não envolver qualquer componente elétrico ou elementos de fixação (parafusos, porcas, rebites, etc.) que já não estejam integrados.

Uma melhor orientação da coifa da alavanca de mudanças foi obtida com a inclusão de pinos-guia na área de encaixe do console central, como mostra a figura 22.

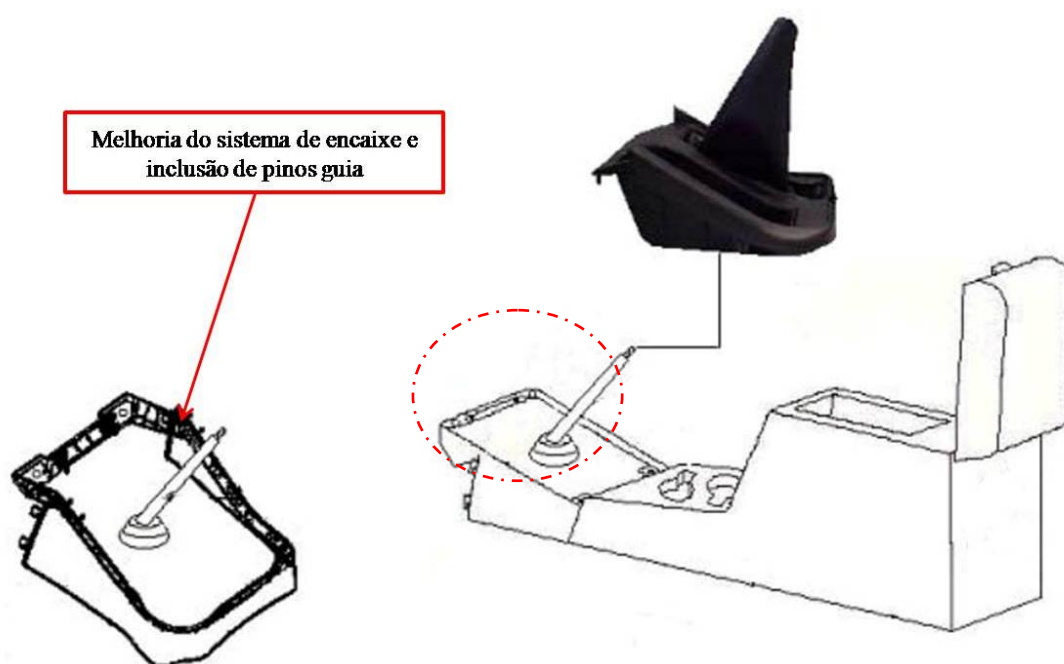


FIGURA 22 - MELHORIA DO SISTEMA DO SISTEMA DE FIXAÇÃO DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS

FONTE: Elaborado pelo autor

4.3.2.2 Dificuldade de encaixe da coifa da alavanca de mudanças, durante montagem no console Central

O processo de montagem da coifa da alavanca de mudanças, ilustrado na figura 22, apresenta um tempo adicional de montagem devido à necessidade de se evitar o defeito de encaixe da alavanca, ilustrado na figura 23. Esta é a razão de se caracterizar este desperdício como um defeito.

A origem deste defeito não é de percepção imediata. Por isso, antes de consultar ao quadro 7 em busca das diretrizes que visam minimizar defeitos na

etapa de montagem final, devemos identificar mais claramente o defeito decorrente desta montagem, bem como sua causa raiz, para então buscar-se as diretrizes mais aplicáveis.



FIGURA 23 - DEFEITO DECORRENTE DE DIFICULDADE DE ENCAIXE DA COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS NO CONSOLE CENTRAL

FONTE: Elaborado pelo autor

Uma análise de qualidade preliminar mostrou que o posicionamento da coifa da alavanca de mudanças é impactado pelo posicionamento de um componente estrutural, comum a todos os modelos e marcas, denominado “barra tubular”. Este componente é utilizado como suporte do painel, como ilustra a figura 24. Este componente determina todo o posicionamento do conjunto painel de instrumentos, que conseqüentemente determina a posição do console central, coifa da alavanca de mudanças e demais componentes agregados.

Uma visão explodida dos componentes afetados pelo posicionamento da barra tubular pode ser vista na figura 24.

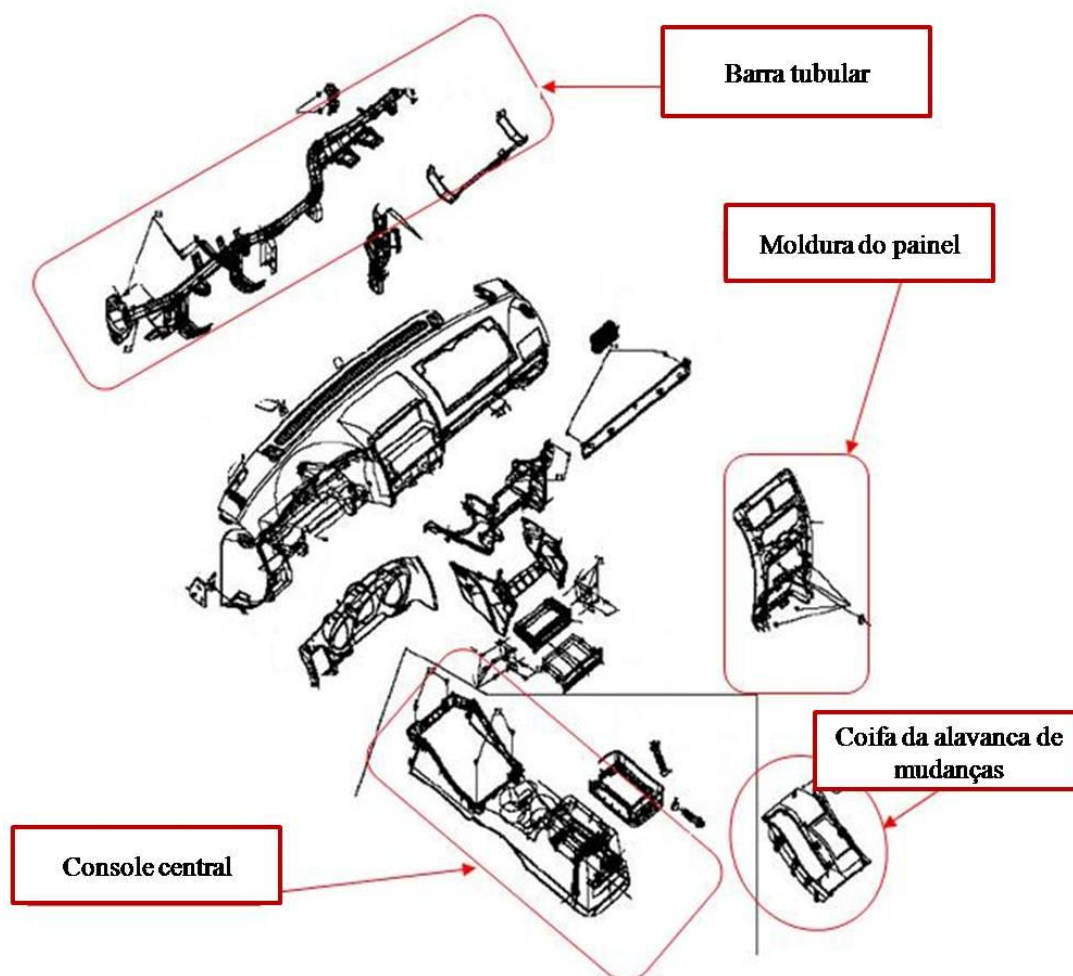


FIGURA 24 - BARRA TUBULAR E OS COMPONENTES AFETADOS PELO SEU POSICIONAMENTO

FONTE: Elaborado pelo autor

A barra tubular é montada na carroceria do veículo através de parafusamentos, realizados na sua extremidade direita e esquerda, como ilustra a figura 25. Os pontos de fixação da carroceria determinam a posição da barra tubular em relação à carroceria do veículo, depois de montada.

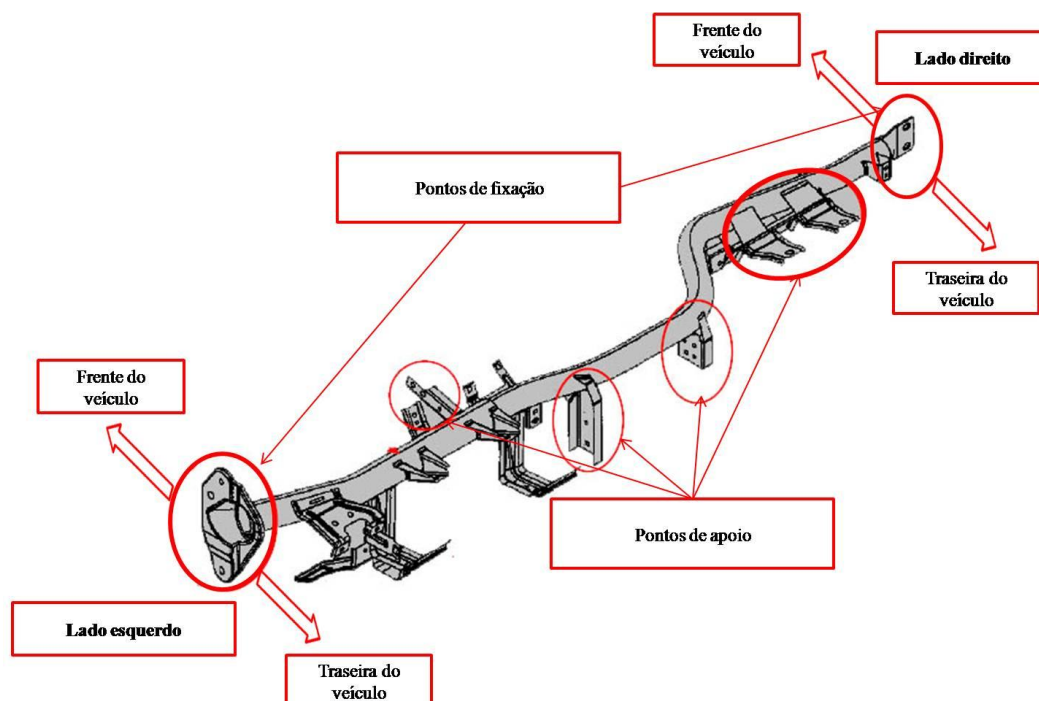


FIGURA 25 - PONTOS DE FIXAÇÃO DA BARRA TUBULAR

FONTE: Elaborado pelo autor

A figura 26 ilustra os pontos de fixação da carroceria (lados direito e esquerdo do veículo), que são os pontos que podem apresentar variações de posição

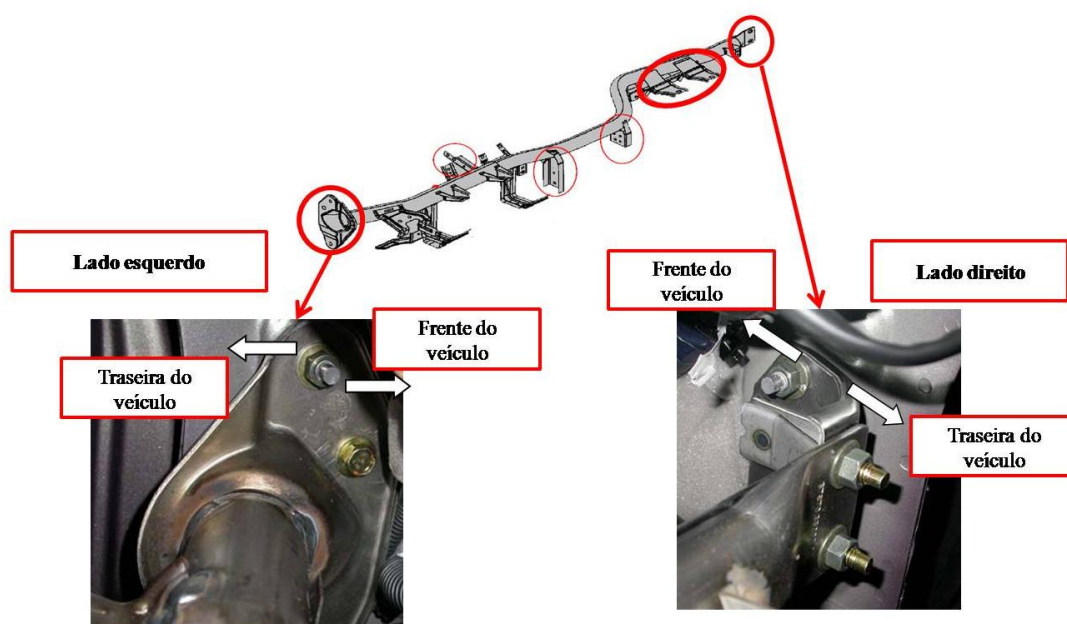


FIGURA 26 - PONTOS DA CARROCERIA ONDE A BARRA É FIXADA

FONTE: Elaborado pelo autor

A análise de qualidade mostrou que os pontos da carroceria onde a barra é fixada, ilustrados na figura 26, podem apresentar variações de posição, para frente ou para trás, decorrentes de variações dimensionais e de posicionamento, durante o processo de soldagem, influenciando na posição de fixação da barra tubular.

De acordo com a análise de qualidade, esta variação de posição dos pontos onde a barra é fixada, contribui diretamente para problemas de posicionamento encaixe da coifa da alavanca de mudanças.

A análise qualidade chegou à seguinte conclusão: tanto os pontos do lado direito da carroceria onde a barra é fixada, quanto do lado esquerdo, apresentam tolerâncias nominais da ordem de $\pm 2,8$ mm, no eixo Z (ilustrado na figura 26), quando poderiam ser de 1,4 mm, de acordo com especialistas em geometria.

Quando a tolerância atinge o valor máximo de -2,8mm, a coifa da alavanca de mudanças, fica sem espaço para ser encaixada, acarretando o defeito de dificuldade de encaixe que causa desperdício por requerer retrabalho, ou tempo adicional de processo.

4.3.2.3 Escolha e Aplicação da Diretriz DFLM

Uma vez que o desperdício ocorrido durante a montagem da coifa da alavanca de mudanças é gerado durante o processo de soldagem, as diretrizes relacionadas no quadro 9 são as mais indicadas.

As diretrizes aplicáveis de acordo com o quadro 9, para se evitar defeitos na etapa de montagem são:

- 1) Correta especificação da espessura de grandes peças estampadas (laterais, portas, etc.), reduz a quantidade de defeitos destas peças;
- 2) Peças estampadas com maior grau de complexidade reduzem o número de pontos de ancoragem no processo de soldagem, bem como número de pontos de solda e a necessidade de verificações de qualidade;
- 3) Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribuem para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos de conjuntos montados (montagem final de veículos).

Mudanças na especificação de espessura e dimensional das chapas soldadas na região da carroceria, que determinam a posição dos pontos de fixação da barra tubular, foram imediatamente descartadas, por se tratar de um reprojeto. Estas diretrizes são viáveis durante as fases de projeto detalhado, quando o ferramental (ferramentas de estampagem) ainda será desenvolvido para atender às especificações de projeto.

A aplicação da diretriz “Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribui para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos dos conjuntos montados (montagem final de veículos)”, podendo ser aplicada sem que as modificações de ferramental se tornem dispendiosas.

Esta diretriz foi aplicada para os pontos da carroceria onde a barra tubular é fixada. Suas variações de posição no eixo Z passaram de +/-2,8 mm para +/-1,4. Com isso a dificuldade de montar a coifa da alavanca de mudanças diminuiu sensivelmente.

Embora a fonte deste desperdício seja um defeito, optou-se por verificar a eficácia da aplicação desta diretriz, através da variação do tempo de montagem da operação onde ela foi aplicada. Como nenhum veículo deixou a linha de montagem apresentando o defeito abordado, qualquer levantamento de número de ocorrências deste defeito foi descartado.

4.3.2.4 Resultados Obtidos

A tabela 12 mostra o comparativo entre o tempo real e padrão, após a aplicação da diretriz DFLM.

TABELA 12 - TEMPO DE MONTAGEM REAL APÓS APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DFLM

OPERAÇÃO	TEMPO REAL (min)	TEMPO PADRÃO (min)
MONTAR COIFA DA ALAVANCA DE MUDANÇAS NA ALAVANCA DO CÂMBIO	0,15	0,18

FONTE: Elaborado pelo autor

4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tempo de montagem da operação de fixação do conjunto de chapas diminuiu de 0,75 minutos (45 segundos) para 0,53 minutos (32 segundos), correspondendo a uma diminuição da ordem de aproximadamente 30%, após a aplicação das diretrizes DFLM propostas para os desperdícios gerados durante a sua montagem.

Já o tempo de montagem da coifa da alavanca de mudanças diminuiu de 0,22 minutos (13 segundos) para 0,15 minutos (9 segundos), correspondendo a uma diminuição da ordem de 31%.

Estes resultados preliminares nos mostram que a aplicação das diretrizes DFLM apresenta potencial viabilidade.

Este capítulo tratou não somente de buscar resultados a fim de verificar a eficácia de parte das diretrizes DFLM, mas também propor um procedimento de utilização, de forma que os desperdícios sejam corretamente identificados, para então buscar as corretas diretrizes aplicáveis para minimizá-los.

Percebeu-se que sua aplicação requer certo esforço e conhecimento, uma vez que se deve identificar os desperdícios e relacioná-los com os sete desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta. No entanto sua aplicação se mostrou adequada, face os resultados obtidos.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo tem por objetivo:

- 1) Expor as conclusões obtidas com o presente estudo;
- 2) Sugerir oportunidades de futuros trabalhos.

A partir do objetivo geral definido no Capítulo 1 – Introdução e do trabalho desenvolvido nos capítulos subseqüentes, pode-se afirmar que o presente estudo teve como principal resultado: um conjunto estruturado de diretrizes de apoio ao processo de desenvolvimento de produtos, denominado *Design for Lean Manufacturing* - DFLM, bem como uma sistematização de sua aplicação, com vistas à redução de desperdícios na etapa de processos de manufatura.

As principais conclusões obtidas a partir do desdobramento do objetivo geral foram:

- Através do embasamento teórico realizado no Capítulo 2, foi possível perceber que as ferramentas DFX existentes até o momento não atendem à necessidade de um desenvolvimento de produtos orientado para implantação da Manufatura Enxuta;
- O Capítulo 3 resultou em um conjunto estruturado de diretrizes que podem evitar que desperdícios específicos ocorram na etapa de manufatura. Além disso, sua aplicação durante as fases de projeto conceitual e detalhado contribuem com o aumento do valor sob a ótica de *stakeholders* ligados à manufatura (produção, processos, qualidade e logística);
- As diretrizes levantadas no Capítulo 3 sugerem a criação de uma nova ferramenta DFX, e não uma melhoria das ferramentas já existentes;
- O Capítulo 4 verificou a aplicação de algumas das diretrizes, através de um caso prático de reprojeto de componentes de montagem de um veículo. Neste capítulo também foi proposta uma metodologia de aplicação destas diretrizes.
- Os resultados obtidos com a verificação das diretrizes mostraram que sua aplicação é viável, para qualquer tipo de projeto que demande os processos de manufatura abordados neste trabalho;

Estas conclusões serão desdobradas nos subitens seguintes.

5.1 PROPOSTA DE DIRETRIZES QUE ORIENTEM EQUIPES DE DESENVOLVIMENTO NA TAREFA DE CRIAR PRODUTOS ENXUTOS

Se por um lado o objetivo geral mostrou-se abrangente e por isso, no decorrer do estudo optou-se por restringir o levantamento das diretrizes aos processos de: usinagem, estampagem, soldagem e montagem, por outro lado o objetivo geral restringiu a aplicação das diretrizes às fases iniciais do processo de desenvolvimento, e no decorrer do estudo optou-se por estender sua aplicação às atividades de projeto.

5.1.1 Levantar as Necessidades de uma Nova Ferramenta DFX

O embasamento teórico sobre este tema mostrou:

- 1) Que a aplicação dos princípios enxutos não deve se restringir às etapas de processos de manufatura, devendo ser expandida aos demais processos administrativos, de forma a reduzir desperdício e criar um fluxo contínuo de informações.
- 2) Que a nova fronteira de aplicação da abordagem enxuta é a de desenvolvimento de produtos, visando uma redução do tempo de desenvolvimento.
- 3) A importância de se buscar identificar desperdícios ocorridos na etapa de processos de manufatura, ainda nas etapas de desenvolvimento, de forma a conceber produtos que gerem o mínimo de desperdícios possível nas etapas de manufatura.
- 4) Uma convergência, no que se refere ao avanço da implantação da abordagem enxuta em direção aos processos de desenvolvimento, bem como a preocupação em tornar os processos de desenvolvimento cada vez mais eficientes, rápidos e flexíveis, através da eliminação de

desperdícios e criação de fluxos de informação durante as etapas de desenvolvimento.

Tal embasamento sobre a Manufatura Enxuta e processos de desenvolvimento de produtos (PDP) foi favorecido pela elevada quantidade de material disponível sobre estes dois assuntos. Por outro lado, considerando-se os objetivos deste trabalho, foi constada uma deficiência de material que suporte o desenvolvimento de produtos enxutos. Ou seja, que favoreça o desenvolvimento de produtos que minimizem desperdícios nas etapas de processos de manufatura.

Com isso, o levantamento teórico identificou:

- A importância da contribuição do processo de desenvolvimento de produtos para o sucesso da implantação da Manufatura Enxuta;
- A existência de diretrizes de suporte ao desenvolvimento de produtos, que quando devidamente aplicadas, contribuem com a Manufatura Enxuta;
- A carência de uma ferramenta DFX que sistematize a aplicação de diretrizes orientadas para o desenvolvimento de produtos voltados para a implantação da Manufatura Enxuta;

O levantamento realizado no Capítulo 3 permitiu identificar as necessidades ainda não atendidas pelas ferramentas DFX existentes até então. A metodologia de entrevistas suportada por um questionário mostrou-se adequada, apesar da dificuldade em obter retorno dos respondentes. O formato do questionário aplicado mostrou-se acertado ao oferecer aos respondentes a possibilidade de sugerir novas diretrizes, além das avaliadas, ou expor necessidades ainda não atendidas por qualquer diretriz.

Este levantamento forneceu subsídios suficientes para se estabelecer uma relação direta entre diretrizes e defeitos mais fortemente evitados.

5.1.2 Propor uma Nova Ferramenta DFX

Apesar de as médias dos pesos atribuídos para as relações entre diretrizes e desperdícios terem se mantido elevadas para quase todos os desperdícios, estes resultados permitiram estabelecer facilmente uma relação direta entre as diretrizes e

os desperdícios. Além disso, a interpretação das necessidades levantadas pelos respondentes pôde ser facilmente convertida em diretrizes, ou até mesmo adaptada em diretrizes já existentes.

5.1.3 Verificar Através de um Estudo de Campo

A etapa de verificação, realizada através de um caso prático de reprojetos de componentes de um veículo já em produção, confirmou as expectativas de aumento de eficiência do processo de montagem, através da redução do tempo de montagem após a aplicação de parte das diretrizes propostas.

A metodologia utilizada para aplicação das diretrizes mostrou-se eficiente e confiável, apesar de ser um tanto trabalhosa, uma vez que o projetista deve relacionar o desperdício analisado com um dos sete desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta, para então identificar as diretrizes correspondentes em uma das sete tabelas de diretrizes DFLM (quadros 4 a 10)

5.1.4 Avaliar Os Resultados Obtidos Durante a Verificação

Os resultados obtidos durante a etapa de verificação permitem concluir que as diretrizes são aplicáveis sob a ótica da Manufatura Enxuta.

Face os resultados obtidos através do levantamento das diretrizes e verificação durante um processo de reprojeto, pode-se dizer que esta nova ferramenta DFX também pode ser aplicada nas fases de projeto conceitual e detalhado, com a finalidade de se evitar estes reprojetos.

5.2 CONTRIBUIÇÕES

Através do presente estudo foi possível:

- a) Confirmar a contribuição do projeto do produto para o sucesso da implantação da Manufatura Enxuta;
- b) Confirmar a necessidade de uma sistematização das diretrizes de apoio ao desenvolvimento de produtos (existentes e novas), com a finalidade de desenvolver produtos que evitem desperdícios na etapa de manufatura;
- c) Levantar um conjunto estruturado de diretrizes, estabelecendo uma relação direta com desperdícios combatidos pela Manufatura Enxuta, formando uma nova ferramenta DFX, denominada *Design for Lean Manufacturing*;
- d) Propor uma sistemática de aplicação das diretrizes DFLM, através da correta identificação dos desperdícios a serem evitados.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH, F., Lean. **Manufacturing tools and techniques in the process industry with a focus on steel**. 232 f. Tese (Doutorado em Engenharia). University of Pittsburgh, 2003.

ALLIPRANDINI, D.H., Toledo, J.C. **Modelo para gestão do processo de desenvolvimento de produtos: uma proposta baseada em dimensões críticas**, 4 ed. Gramado: CBGDP, 2003.

ALVES, N.. COUTINHO, T. **Identificando processos através do mapeamento do fluxo de valor**. São Paulo: Banas Qualidade. v. 13, n. 145, p. 36-38, jun., 2004.

ANDERSON, David M. **Design for manufacturability and concurrent engineering: how to design for low cost, design in high quality, design for lean manufacture, and design quickly for fast production**. [S.l]:CIM Press, 2004.

ANDRADE, L. F. S., FORCELLINI, F. A. **Estudo da viabilidade de utilização do DFA, DFM e FMEA como ferramentas de auxílio para o projeto de interfaces na fase de projeto conceitual**. In: CONEM - Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2004, Belém: Anais CONEM, v.1, 2004.

BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5. ed., rev. Florianópolis: UFSC, 2002.

BARKER, R. C. **The design of Lean Manufacturing systems using time-based analysis**. *International Journal of Operations & Production Management*. v. 14, n. 14, p. 86-96, 1994.

BATTAGLIA, F., PICCHI, F., FERRO, J.R. **Desenvolvimento lean de produtos**. Lean Institute Brasil. 2005. Disponível em: <[http://www.Lean.org.br /download/artigo_02.pdf](http://www.Lean.org.br/download/artigo_02.pdf)>. Acesso em: 19 agosto 2007.

BAUCH, C. **Lean product development: making waste transparent**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento de Produtos). MIT, Massachussets: Lean Advancement Initiative, 2004.

BERTELSEN, S.; KOSKELA, L. **Construction beyond Lean: a new understanding of construction management**. 12th annual conference in the International Group for Lean Construction, Denmark: Elsinore, 2004.

BIGNARDI, Fernando A. C. **Reflexões sobre a Pesquisa Qualitativa & Quantitativa: maneiras complementares de apreender a Realidade**, 2007. Disponível em: <<http://www.comitepaz.org.br/download//PESQUISA%20QUALITATIVA.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2008.

BJARNOE, O.C. **Lean Thinking in Product Development**. [S.l]:Denmark, 2006.

BLAIKIE, N. W. H. **Designing social research : the logic of anticipation**. Cambridge: Polity Press, 2000.

BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P. **Product design for assembly**. Wakefield: Boothroyd Dewhurst Inc, 1989.

BRALLA, J. G. **Design for manufacturability handbook**. New York: McGraw-Hill, 1998.

CHO, S. H.; EPPINGER, S. D. **Product development process modeling using advanced simulation**. Proceedings of ASME International Design Engineering Technical Conference, DTM-21691, 2001.

CRESWELL, J. W. **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 2 ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 246 p., 2003.

CLT - COMUNIDADE LEAN THINKING. **A criação de valor através da eliminação do desperdício**. Disponível em: <<http://www.leanthinkingcommunity.org/>>. Acesso em: 28 outubro 2008.

CUA, O.; MCKONE, E.; SCHROEDER, G. **Relationships between implementation of TQM, JIT, and TPM and manufacturing performance**. Journal of Operations Management, Vol. 19, N.6, p. 675-94, 2001.

DOBBIN, S. A.; GATOWSKI, S. I. **A judge's deskbook on the basic philosophies and methods of science, a model curriculum developed by the state justice institute**. [S.l]:State Justice Institute, 1999. Disponível em: <<http://www.unr.edu/bench/chap04.htm>>. Acesso em: 06 maio 2008.

EDWARDS, K.L. **Towards more strategic design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering.** [S.I]: Materials and Design 23, 2003.

ELIAS, S.J.B.; MAGALHÃES, L.C. **Contribuição da produção enxuta para obtenção da produção mais limpa.** In: XXIII ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, Ouro Preto.2003. Anais... Ouro Preto:[S.I.], 2003.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia.** 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2003.

FERREIRA, H.S.R, TOLEDO, J.C. **Metodologias e ferramentas de suporte á gestão do processo de desenvolvimento de produto (PDP) na indústria de autopeças.** Proceedings..., [S.I]: ENEGEP, 2001.

GENERAL ELECTRIC COMPANY. **Manufacturing Producibility Handbook, Manufacturing.** NY: Service, Schenectady, 1960.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais.** 4.ed. Rio de Janeiro: Record, 2000.

GREER, J.L.; WOOD, K.L.; JENSEN, D.D. **Effort flow analysis: a methodology for directed product evolution.** Elsevier: Design Studies, 2004.

GÜNTHER, H. **Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? Psicologia: Teoria e Pesquisa.** [S.I], p. 201-209, 2006.

HAGEL, J.; BROWN, J.S. **4 lessons to learn from Tata's Nano.** Business Week.com. Disponível em:<[http://inhome.rediff.com / Money / 2008 / mar/25nano.htm](http://inhome.rediff.com/Money/2008/mar/25nano.htm) >. Acesso em: 20 setembro 2008.

HUANG, G. Q. **Design for X: concurrent engineering imperatives.** London: Chapman & Hall, p. 489, 1996.

KOSAKA, G.I. **Jidoka**. Disponível em <http://www.Lean.org.br / bases.php?&interno = artigo_36>. Acesso: 16 novembro 2008.

KRUMENAUER, F. Z. **Engenharia simultânea e projeto orientado para a manufaturabilidade e montagem de portas automotivas**. Dissertação (Mestrado Profissional) Engenharia Automotiva. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Metodologia científica**. 2. ed., rev. e ampl. São Paulo: Atlas, p. 249, 1991.

LAMBERT, D. M.; STOCK, J.R.; ELLRAM, L. M. **Fundamentals of logistics management**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, p. 316, 2004.

LYRA, M. G.; GOMES, R. C. **Análise de Stakeholders: uma revisão teórica**. In: Global Forum America Latina, 2008, Curitiba. Global Forum América Latina, 2008.

MAYNARD, H. B. **Manual de engenharia de produção**. São Paulo: E. Blücher, v.10, 1970.

MCMANUS, H.; MILLARD, R. **Value stream analysis and mapping for product development**. Proceedings of the International Council of the Aeronautical Sciences 23rd. ICAS Congress, September 8-13, 2002.

MINAYO, M. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 22. ed. Coleção Temas Sociais. Petrópolis: Vozes, p. 80, 2003.

MORGAN, J. M.; LIKER, J. K. **The Toyota Product Development System: Integrating People, Process and Technology**. New York: Productivity Press, 2006.

MTM DO BRASIL. **MTM**. Apostila do Curso Básico A1. [S.l.]:Associação MTM do Brasil, 2007.

Murman, E., et al. **Lean enterprise value: insights from mit's lean aerospace initiative**, [S.l.]:Palgrave, 2002.

OFFICE OF THE UNDER SECRETARY OF DEFENSE (Acquisition and Technology). **DoD integrated product and process development handbook**. Washington: Author, 1998.

OHNO, T. **O sistema toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, p. 149, 1997.

P. YANG; J. ZHU, S. W. **Decision-making of product design for concurrent engineering**. [S.I.]:Journal of Xi'an Jiaotong University, v. 34, n. 2, p. 85-88, 2000.

PAHL, G.; AND BEITZ, W. **Engineering design - a systematic approach**. 2 ed. London: Springer, p. 544, 1996.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos: métodos e aplicações**. 6 ed. São Paulo: E. Blücher, 2005.

PESSOA, M. V. P. **Proposta de um método para planejamento de desenvolvimento enxuto de produtos de engenharia**. Tese (Doutorado em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) [S.I.]:Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2006.

PINTO, João P. **Lean thinking - criar valor eliminando desperdício**. [S.I.]:Comunidade Lean Thinking, 2008.

PYZDEK, T. **Uma ferramenta em busca do defeito Zero**. [S.I.]:HSM Management. Maio-junho. p. 64-70, 2003.

RAEDER, M.; FORCELLINI, F. A. **Design for lean systematization applied in detailed and conceptual phases**. In: 19th International Congress of Mechanical Engineering, Brasília: Proceedings of COBEM 2007. v. 1, 2007.

REYES, A. E. L.; VICINO, S. R. **Controle de qualidade usando Excel**. São Paulo: CIAGRI/USP-DME-ESALQ/USP. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/qualidade/ishikawa/pag1.htm>>. Acesso em: 29 outubro 2008.

ROCHA, L. O. L., **Organização e métodos: uma abordagem prática**. 6. ed. São Paulo: Atlas, p. 286, 1987.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar: mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício**. São Paulo: Lean Enterprise Institute Brasil, 1999.

ROZENFELD, H., et al. **Gestão de desenvolvimento de produto: uma referência a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, p. 542, 2006.

SHAH, R.; WARD, P.T. **Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance**. [S.l.]: Journal of Operations Management, Vol. 21, n. 2, p.129-150, 2003.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 ed. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. Disponível em: <[http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia % 20da % 20Pesquisa%20a%20educacao.pdf](http://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia%20da%20Pesquisa%20a%20educacao.pdf)>. Acesso: 05 fevereiro 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, p. 747, 2002.

SOBEK, D.K. II; WARD, A.C. **Principles from Toyota's set-based concurrent engineering process**. Proc. ASME Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, 18/22 Ago, Mechanical Engineering, Irvine, CA, v. 118 n. 7, p. 78-81, 1996.

THE UK MTM ASSOCIATION. **MTM**. [S.l], 2000. Disponível em: <<http://www.mtmuk.org/>>. Acesso em: 20 setembro 2008.

ULRICH, K. T.; EPPINGER, S. D. **Product design and development**. 3 ed, Boston: McGraw-Hill/Irwin, p. 366, 2004.

WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. **Estado da Arte**. Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Estado_da_arte>. Arquivo acessado em 02 de fevereiro de 2008.

WOMACK, J P.; JONES, D. T. **A mentalidade enxuta nas empresas : Elimine o desperdício e crie riqueza**. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2004.

WOMACK, JAMES P.; JONES, DANIEL. T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, p. 332, 2004.

XIE, X. **Design for manufacture and assembly**. Utah: Dept. of Mechanical Engineering, University of Utah, 2003.

XU, L.; LI, Z., SHANCANG, LI S.; TANG, F. **A decision support system for product design in concurrent engineering**. Vol 42, n. 4, Janeiro, [S.l.]: Decision Support Systems in Emerging Economies, 2007.

WARD, Allen C. Lean **Product and Process Development**. [S.l.]:Lean Enterprise Institute, 2007.

APÊNDICE

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE APOIO AO LEVANTAMENTO DE DIRETRIZES

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DE APOIO AO LEVANTAMENTO DE DIRETRIZES

Com base na sua especialidade (usinagem, estampagem / conformação; soldagem; montagem, etc.), atribua pesos de zero (peso mínimo) a dez (peso máximo), utilizando intervalos inteiros, indicando a contribuição das características desejáveis de produtos propostas na Quadro 1A, a fim de se evitar cada um dos sete desperdícios relacionados na tabela 1A.

Tabela 1A: Sete desperdícios evitados pela Manufatura Enxuta

Número Correspondente ao Tipo de Desperdício	Tipo de Desperdício
1	Superprodução: produção de itens que ainda não foram solicitados, gerando a necessidade de serem armazenados e transportados mais vezes do que o necessário.
2	Espera: trabalhadores meramente observando uma máquina automatizada, ou esperando pela próxima etapa de um processo, chegada de peças em atraso, gargalos de produção, etc.
3	Transportes desnecessários: necessidade de transporte do produto em processo por longas distâncias entre uma etapa e outra, ou entre etapas desnecessárias.
4	Superprocessamento e processamento incorreto: etapas de manufatura desnecessárias. Processos ineficientes devido a ferramentas pobres e projeto de produto, necessitando movimentos desnecessários podendo produzir baixa qualidade. Desperdícios quando se exige qualidade acima da necessária.
5	Excesso de inventário: excesso de material bruto, de produto em processo, ou produtos acabados, provocando longos tempos de entrega, obsolescência, bens danificados, custo de armazenamento e transporte.
6	Movimentações desnecessárias: quaisquer movimentações efetuadas pelos funcionários para procurar ou para alcançar peças.
7	Defeitos: produção de peças defeituosas. Todo tipo de retrabalho, perda de produtos, inspeção que não agregam valor.

Quadro 1A - Contribuição das características desejáveis de produto (propostas pelo autor), sob a ótica *Lean Manufacturing*

		Tipos de Desperdícios Descritos na Tabela 1							
		1	2	3	4	5	6	7	
Características Desejáveis a Propostas pelo Autor (aplicações gerais)	Peças com menor grau de complexidade podem reduzir necessidades de ajustes, trocas de ferramentas e medições de controle em processos de estampagem.								Pesos Atribuídos de 0 a 10 em Intervalos Inteiros
	Especificação da espessura de peças estampadas (laterais, portas, etc.) pode ter influência na quantidade de defeitos destas peças.								
	Peças estampadas com maior grau de complexidade podem reduzir o número de fixações (alicates) no processo de soldagem, bem como número de pontos de solda e a necessidade de verificações de qualidade.								
	Peças estampadas e soldadas com tolerâncias mais rígidas contribuem para uma redução na quantidade de ajustes, controles e retrabalhos de conjuntos montados (montagem final de veículos).								
	Comunicação de elementos de fixação (parafusos; rebites; etc.) tem uma contribuição importante com os princípios Lean.								
	Operações de montagem que não possam ser realizadas de uma única vez (pré-apertos; posicionamentos; etc.), contribuem com os desperdícios supracitados.								

De acordo com a sua realidade de aplicação, indique na quadro 2A, características desejáveis de produto, a fim de se evitar qualquer um dos desperdícios relacionados na tabela 1A. Para cada característica desejáveis para o produto, indique o número correspondente ao desperdício evitado, conforme a tabela 1A.

Quadro 2A - Características desejáveis de produtos sob a ótica Lean Manufacturing, provenientes dos respondentes

		Números Correspondentes aos Desperdícios Descritos na Tabela 1
Características de Concepção de Peças de Produto Propostas pelo Entrevistado		

Considerando os sete desperdícios indicados na tabela 1A, atribua pesos de zero (peso mínimo) a dez (peso máximo), utilizando intervalos inteiros, indicando a contribuição das diretrizes DFM relacionadas nos quadros 3A ao 7A.

